

Juho-Joonas Honkanen

**KOORDINAATTIMITTAUSKONEEN MITTAUSPROSESSIN
AUTOMATISOINTI KOLLABORATIIVISELLA ROBOTILLA**

KOORDINAATTIMITTAUSKONEEN MITTAUSPROSESSIN AUTOMATISOINTI KOLLABORATIIVISELLA ROBOTILLA

Juho-Joonas Honkanen
Opinnäytetyö
Syksy 2017
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, tuotantotalous

Tekijä: Juho-Joonas Honkanen
Opinnäytetyön nimi: Koordinaattimittauskoneen mittausprosessin automatisointi
kollaboratiivisella robotilla
Työn ohjaaja: Timo Broström
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2017
Sivumäärä: 52 + 3 liitettä

Tämä opinnäytetyö tehtiin Oulun ammattikorkeakoulu Oy:lle osana EU-rahoitteista Tehoja-hanketta, jossa pyritään parantamaan tuotantoautomaation kustannustehokkuutta hyödyntämällä uusinta teknologiaa. Opinnäytetyössä selvitettiin kollaboratiivisen robotin toimintaa tuotantosolussa mittakoneen kanssa. Tavoitteena opinnäytetyössä oli automatisoida koordinaattimittauskoneen kappaleenvaihto kollaboratiivisella robotilla. Työ aloitettiin layout-suunnittelulla, jonka avulla saatiin tietoa solusta, mahdollisista robotin sijoituspaikoista ja robotin ulottuvuuksista solussa. Merkittävänä tekijänä layout-suunnittelussa oli myös laitteiden välinen törmäystarkastelu.

Kappaleenvaihdon automatisointia varten suunniteltiin testikappale, jollaisia valmistettiin pieni sarja. Kappaleesta valittiin kaksi dimensiota, joiden mittavaihtelun perusteella kappaleet jaettiin hyväksytyihin ja hylättyihin. Kappaleille kehitettiin kiinnitin, jotteivät ne pääse liikkumaan mittausprosessin aikana. Lisäksi työn suorittamiseen kuului ohjelmien kehittäminen robotille ja koordinaattimittauskoneelle. Ohjelmien toiminta eri tilanteissa toteutettiin sisällyttämällä niihin loogisia if-else-lauseita. Layout-suunnittelussa laadittiin 3D-malli ja 2D-piirustus solusta ja karotettiin törmäysriskejä 3D-ympäristössä.

Lopputuloksena todettiin koordinaattimittauskoneen ja robotin yhteistoiminnan olevan onnistunut. Robotti kykeni siirtämään kappaleet mitattavaksi ja poistamaan ne mittauspisteestä. Koordinaattimittauskone puolestaan pystyi mittamaan toistuvasti mittauspisteeseen siirrettyjä kappaleita sekä käynnistämään robotin ohjelman, jolla kappaleet saatiin poistettua. Lisäksi mitatut kappaleet saatiin järjesteltyä kahteen ryhmään, hyväksytyihin ja hylättyihin. Layout-suunnittelussa syntyi 3D-malli sekä 2D-piirustus solusta. Layout-suunnittelussa syntyneen tiedon perusteella tehtiin päätös sijoittaa soluun UR5-robotti. Robotti saatiin sijoitettua haluttuun paikkaan, jossa se ei muodostanut törmäysriskiä. Kokonaisuudessaan työssä onnistuttiin todistamaan, että koordinaattimittauskoneen kappaleenvaihto voidaan automatisoida kollaboratiivisella robotilla.

Asiasanat: automaatio, yhteistyörobotiikka, koordinaattimittaus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Mechanical and production engineering, Production Economics

Author: Juho-Joonas Honkanen

Title of thesis: Automating of Coordinate-Measuring Machine Part Change with Collaborative Robot

Supervisor: Timo Broström

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2017

Pages: 52 + 3 appendices

This thesis was carried out for Oulu University of Applied Sciences. It was a part of a project funded by EU that studies the requirements of improving production automation's cost-efficiency with using the newest robot automation. In this thesis the use of collaborative robot in production cell with coordinate measuring machine is studied. The aim of the thesis was to make the part change of a coordinate-measuring machine automatic with a collaborative robot. The process begun with designing a layout for the production cell to have information about the cell and to aid decision making with the placement of the robot.

A test part series for simulating the part change was planned and manufactured for the automation process. Two dimensions of the parts were chosen to be measured. The division between passed and failed parts was done according to measurement variation of dimensions. A fastener was also designed to keep the parts from moving during the measuring process. The programmes used in the automation process were created for the robot and the coordinate-measuring machine.

As a result of the thesis the robot was able to move the parts to the point where they were measured and remove them. After the removal, the parts were successfully sorted into passed and failed parts. The goal of the layout planning was also accomplished. The robot was placed to a desirable place where it did not create a risk of collision. In the thesis it was proven that the part change of a coordinate-measuring machine can be automated using a collaborative robot.

Keywords: Automation, Collaborative robots, Coordinate-measuring

ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö on tehty Oulun ammattikorkeakoulun Tuottavuutta joustavalla automaatiolla (Tehoja) -hankkeeseen. Haluan kiittää koko Oulun ammattikorkeakoulun henkilöstöä tuesta ja avusta, jota sain koko opintojeni ajan. Lisäksi haluan kiittää mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyö todella mielenkiintoisesta aiheesta.

Erityiset kiitokset ansaitsevat lehtori Timo Broström, joka toimi työni ohjaajana, laboratorioteknikko Jari Mahlakaarto, yliopettaja Eero Korhonen ja muu laboratoriohenkilökunta. Työni aikana olen saanut heiltä arvokasta ja asiantuntevaa ohjausta, sekä he ovat osoittaneet minulle kärsivällisyyttä. Tahdon kiittää myös puolisoani Annea ja muuta perhettäni tuesta ja ymmärtäväisyydestä opinnäytetyöprosessin ajalta.

Odotan mielenkiinnolla, miten ja mihin suuntaan yhteistyörobotiikka tulevaisuudessa kehittyy.

Oulussa 20.11.2017

Juho-Joonas Honkanen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
1 JOHDANTO	8
2 ROBOTIIKKA	9
2.1 Teollisuuden robottityypit	9
2.2 Teollisuusrobotin käyttöönotto	12
2.3 Tarraimet	13
2.4 Robottien ohjelmointi	14
3 YHTEISTYÖROBOTIIKKA	16
3.1 Turvallisuus	17
3.2 Vaatimukset yhteistoiminnalle	18
3.2.1 Turvaluokiteltu valvottu pysäyttäminen	19
3.2.2 Käsiohjauksen käyttäminen	19
3.2.3 Määrätyn nopeuden ja etäisyyden ylläpitäminen	19
3.2.4 Robotin tehon ja voiman rajoittaminen	19
3.3 Universal Robots	20
4 KOORDINAATTIMITTAUS	21
4.1 Koordinaatisto	23
4.2 Mittausanturit	24
4.3 Koordinaattimittauskoneet	25
4.4 MCOSMOS-ohjelmisto	26
5 ANTURIT	28
5.1 Mekaaninen rajakytkin	29
5.2 Induktiiviset anturit	29
5.3 Kapasitiiviset anturit	30
5.4 Optiset anturit	31
6 AUTOMAATIOSOLUN LAYOUT	32
7 KOORDINAATTIMITTAUSKONEEN AUTOMATISOINTI	34
7.1 Testisarjan suunnittelu	35
7.1.1 Testikappaleen piirustus	36

7.2 Kiinnitysmenetelmä	37
7.3 Automaatiosolun layout	39
7.4 Kuvaukset laitteiden ohjelmista	41
7.4.1 Mittauskoneen ohjelma	41
7.4.2 Robotin ohjelma	43
8 POHDINTA	47
LÄHTEET	50
LIITTEET	
Liite 1 Robottisolun layout-piirustus	
Liite 2 Koordinaattimittauskoneen ohjelman kuvaus	
Liite 3 Kaavio UR5-robotin ohjelmasta	

1 JOHDANTO

Ensimmäisten tietokoneiden kehittyessä 1950-luvulla ymmärrettiin nopeasti niiden kyky vähentää yksitoikkoista ja raskasta työtä. Moderni automaatio-käsite syntyi samalla aikakaudella tarkoittaen mekanisoidun koneen ja elektroniikkaohjauksen yhdistelmää. Sen seurauksena 1960- ja 1970-luvuilla kehitettiin ja otettiin käyttöön ensimmäiset robottisovellukset maailmassa. Uusimman trendin automaation ja robotiikan alalla ovat viime vuosina aloittaneet yhteistyö eli kollaboratiiviset robotit. (Aaltonen – Airila – Andersin – Ekman – Kauppinen – Lukko - Pohjala 1992, 9 - 14; Posicraft, linkit Universal Robots; Robotiikka 2016, 2.)

Tämä opinnäytetyö on tehty Oulun ammattikorkeakoulu Oy:lle ja se liittyy EU-rahoitteiseen Tehoja-hankkeeseen, jossa pyritään parantamaan tuotantoautomaation kustannustehokkuutta hyödyntämällä uusinta teknologiaa. Tutkinnan kohteena on uusimman teknologian soveltuvuuden selvittäminen eri käyttökohteisiin. Tässä opinnäytetyössä selvitetään kollaboratiivisen robotin soveltuvuutta koordinaattimittauskoneen eli KMK:n kappaleenvaihdon automatisointiin.

Opinnäytetyön tavoitteena on mahdollistaa koordinaattimittauskoneen jatkuva toiminta automatisoimalla sen kappaleenvaihto hyödyntäen kollaboratiivista robottia. Robotin käyttöönottoprosessin alussa suunnitellaan layout, jonka tarkoituksena on saada tietoa robotin ulottuvuuksista solussa sekä sopivan robotin sijoituspaikan löytäminen. Samalla soluun suoritetaan laitteiden välinen törmäys-tarkastelu.

Kappaleenvaihdon automatisointia varten suunnitellaan testikappale, jota valmistetaan pieni sarja. Kappaleesta mitataan kahta dimensiota, joiden mittavaihtelun perusteella kappaleet jaetaan hyväksytyihin ja hylättyihin. Kappaleille kehitetään myös kiinnitin liikkumisen estämiseksi mittauksen aikana. Työssä laaditaan lisäksi robotin ja KMK:n ohjelmat, joissa käytetään hyväksi if-else-lauseita ohjelmien haarauttamiseen. Solun layout-suunnittelussa solusta luodaan 3D-malli ja 2D-piirustus Solidworks-ohjelmistoa käyttäen. Törmäysriskejä arvioidaan RoboDK-ohjelmistoon rakennetussa 3D-ympäristössä.

2 ROBOTIIKKA

Robottien määrä maailmassa kasvaa eksponentiaalisesti. Vuonna 2016 robottien myynti kasvoi 16 % ja nousi 294 000 yksikköön verrattuna edelliseen vuoteen. Kasvua selittää elektroniikkateollisuuden 41 %:n kasvu verrattuna vuoteen 2015. Vuodesta 2010 lähtien teollisuusrobottien kysyntä on kasvanut kiihtyen automatisoinnin yleistymisen sekä teollisuusrobottien teknisen parantumisen ansiosta. (IFR, linkit World Robotics Statistics -> Free Downloads.) Suomen konepajateollisuudessa robotteihin investoidaan pääasiassa raskaiden työtehtävien ja kappaaleensiirtojen järjestämiseksi, tuotteiden laadun parantamiseksi sekä halusta siirtä miehittämättömään tuotantoon. (Aaltonen ym. 1992, 171.)

2.1 Teollisuuden robottityypit

Teollisuusrobotteja on tähän asti valmistanut useita satoja yrityksiä, joilla kaikilla on valikoimissaan useita robottimalleja. Erilaisia robotteja on siis valmistettu ja suunniteltu useita tuhansia. Standardi SFS-EN ISO 10218-1 määrittelee teollisuusrobotiksi monikäyttöisen käsittelylaitteen, joka on automaattisesti ohjattu, on uudelleenohjelmoitavissa, sisältää vähintään kolme ohjelmoitavissa olevaa akselia sekä voi olla kiinteästi asennettu tai liikkuva. (Aalto – Heilala – Hirvelä – Kuivanen – Laitinen – Lehtinen – Lempiäinen – Lulunoja – Renfors – Selin – Siintoharju – Temmes – Tuovila – Veikkolainen – Vihinen – Virtanen.1999, 12; SFS-EN 10218-1 2011, 14.)

Robotit koostuvat tukivarsista, jotka liikkuvat suhteessa toisiinsa jonkin suoran suunnassa tai suoran ympäri. Siten syntyneitä käsitteellisiä akseleita kutsutaan niveliksi. Kuvassa 1 havainnollistetaan Universal Robotsin UR3-robotin akseleita ja niiden liikesuuntia. Vakiintuneita robottityyppejä ovat suorakulmaiset portaalirobotit, SCARA-robotit, kiertyväniveliset robotit sekä sylinterirobotit. (Aalto ym. 1999, 13 - 17.)



KUVA 1. Kiertyvänivelisen UR3-robotin nivelten kiertosuunnat (Zacobria, linkit *Home -> Knowledge base -> Making a robot cell*)

Portaalirobottien ensimmäiset vapausasteet ovat lineaarisia X-, Z- ja Y-akselien suuntaisesti. Rakenteeltaan portaalirobotti on suorakulmainen kulmistaan palkeilla tuettu kokonaisuus (kuva 2). SCARA-robottikäsivarsi koostuu kolmesta kiertyvästä vapausasteesta ja yhdestä työtasoon nähden lineaarisesta pystysuoraan suuntautuvasta vapausasteesta, josta esimerkkinä kuvassa 3 ABB:n valmistama SCARA-robotti. (Aalto ym. 1999, 14 - 17.)

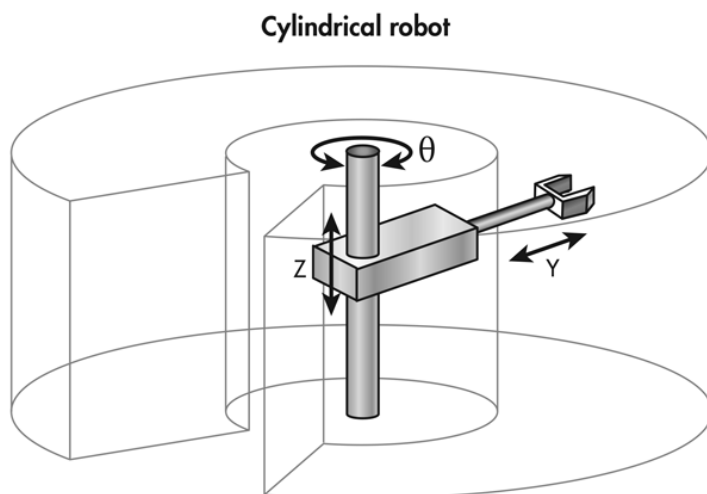


KUVA 2. Alumiiniprofiilista valmistettu portaalirobotti (Aluflex, linkit *Products -> Complete mechanical solutions -> Pick-and-place-portals*)



KUVA 3. ABB:n IRB 910SC SCARA-robottikäsi (ABB, linkit Offerings -> Robotics -> Industrial robots -> IRB910SC)

Kiertyvänivelinen robotti koostuu vapausasteita luovista kiertyvistä nivelistä (kuva 1). Tyypillisin esimerkki kiertyvänivelisestä robotista on tavallinen teollisuusrobottikäsi. Sylinterirobotit (kuva 4) ovat rakenteeltaan hyvin samankaltaisia SCARA-robottien kanssa. Molempien laitteiden koordinaatistot ovat lieriön muotoisia. (Aalto ym. 1999, 14 - 17.)



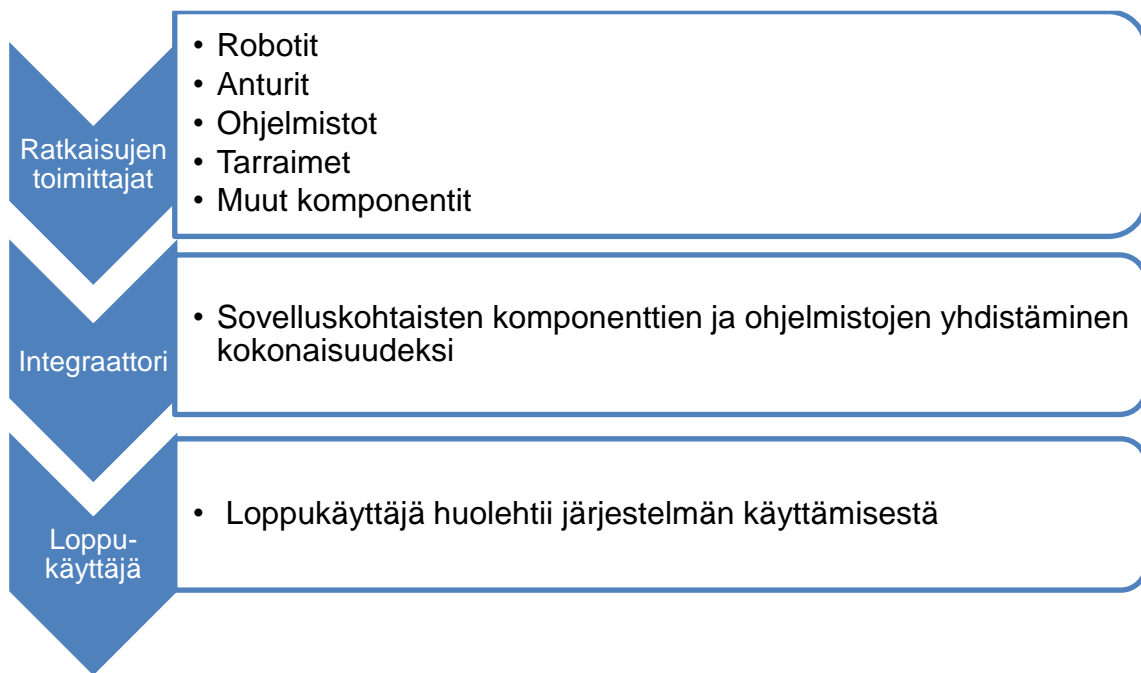
KUVA 4. Sylinterirobotin liikeakselit (Machinedesign, linkit Site map -> Markets -> What's the difference between industrial robots)

2.2 Teollisuusrobotin käyttöönotto

Hankittaessa robottijärjestelmä integraatiota varten koostuu se kolmesta pääkomponentista, joita ovat ohjelmointipääte, ohjausjärjestelmä ja itse robotti. Robotti tarvitsee kuitenkin lisäkomponentteja, jotka ovat välttämättömiä tehtävien suorittamiseen. Lisäksi tarvitaan robotin työkalu, kuten tarrain, hitsauspistooli tai muu komponentti. Antureitakin tarvitaan robotin ohjaukseen ja turvallisuuden takaamiseen. Robotti asennetaan usein työpisteen lattiaan pultein. Sen seurauksena saatetaan tarvita myös kappaleensyöttölaitteita ja turva-aitoja. Laitteistojen lisäksi tarvitaan myös ohjausjärjestelmään esiasennettu ohjelmisto. Robotin toiminnon suorittamaan saava ohjelma täytyy luoda tapauskohtaisesti. (Bouchard 2017, 17 - 20.)

Robottisolun käyttöönotto voidaan jakaa kolmeen pääaskeleeseen: suunnitteluun, integrointiin ja operointiin. Suunnitteluvaihe sisältää tehtävät, joiden seurauksena syntyvät suunnitelmat ja tarvittavat materiaalit. Integrointi sisältää robotin ja laitteiden kokoonpanotyöt, ohjelman tekemisen ja solun asennuksen tuotantolinjalle. Operointi on käyttöönoton tavoite, jossa robotti kykenee suorittamaan työtehtävänsä halutulla tavalla. (Bouchard 2017, 20 - 21.)

Tehdessä hankintoja robottisolua varten, robotin valmistaja tarjoaa usein ainoastaan robottikäden, ohjausjärjestelmän ja ohjelmointipäätteen. Monet valmistajat tarjoavat lisälaitteita ja ohjelmistoja, mutta ne eivät välttämättä sovi jokaiseen käyttötarkoitukseen. Sen vuoksi on syntynyt oma teollisuuden alansa, joka tarjoaa käyttökohdespesifejä tuotteita. Robotin käyttöönoton suorittaja eli integraattori yhdistää eri ratkaisuja suunnittelu- ja integrointivaiheissa (kuva 5). (Bouchard 2017, 21 - 23.)



KUVA 5. Toimijoiden jakaantuminen robottiteollisuuden alalla

2.3 Tarraimet

Tarrain on robotin työkalu, jolla robotti kykenee käsittelemään eli manipuloimaan kappaleita. Tyypillisiä tarraimia ovat avautuvat ja sulkeutuvat tarraimet, joilla voidaan ottaa kappaleista ulko- tai sisäpuolinen ote. Avautuvissa ja sulkeutuvissa tarraimissa vaihtelevat otteiden ohella myös tarraimen sormien lukumäärä ja niiden liikkeiden suunnat. Voima voidaan tuottaa tarraimen otteeseen sähköisellä, pneumaattisella tai hydraulisella toimilaitteella. Tarrainten otteiden, voimantuottamistapojen ja toteutusmekanismien vaihdellessa niitä voidaan suunnitella lukuisia eri malleja. Siitä johtuen on mahdollista suunnitella hyvin kappalekohtaisia tarraimia ja yleistarraimia manipuloitavan kappaleen muotojen ja valmistusmäärän mukaan. (Aalto ym. 1999, 60 - 64.)

Tärkeinä tarraimen ominaisuuksina voidaan pitää sen massaa, kykyä päästä haluttuun asemaan, tartuntamenetelmää ja tartuntavoimaa. Lisäksi tietyissä tilanteissa on tärkeää saada tartuttava kappale keskitettyä paikoitustarkkuuden parantamiseksi. Suunnitteluvaiheessa on tärkeää ottaa tarraimen massa huomioon, sillä se vähentää robotin hyötykuormaa. (Aalto ym. 1999, 60 - 64.)

Itse tartunta voidaan toteuttaa hyödyntämällä kappaleen muotoja tai puristusvoimaa. Puristusvoimaa hyödynnettäessä kappale pysyy tarraimessa kiinni kitkavoimalla. Muotoja hyödyntävä tartunta estää kappaleen liikkeen sulkemalla sen tietyn muodon sisään. Tartunta ei usein ole puhtaasti kitka- tai muototartunta vaan näiden yhdistelmä. Hauraan kappaleen kohdalla on syytä hyödyntää muototartuntaa. Siten estetään kappaleen rikkoutuminen tartuntavoiman vaikutuksesta. Työssä käytettiin Robotiqin valmistamaa kaksisormista vakiotarrainta (kuva 6), joka hyödyntää yhdensuuntaista nelinivelmekanismia tartunnassaan. (Aalto ym. 1999, 60 - 64.)



KUVA 6. Robotiqin 2-sorminen tarrain (Robotiq, linkit Products -> 2-Finger Adaptive Robot Gripper)

2.4 Robottien ohjelmointi

Ohjelmoinnin tarkoituksena on saada robotti suorittamaan haluttuja toimintoja oikeassa järjestyksessä toteuttaakseen robotille tarkoitetun tehtävän tai tehtävät. Lisäksi ohjelmoimalla saadaan robotti toimimaan samanaikaisesti muiden laitteiden kanssa kommunikoimalla signaalein ympäristön laitteille. Virhetilanteisiin on myös syytä varautua ohjelmointivaiheessa robottisolun turvallisuuden takaamiseksi. (Aalto ym. 1999, 78 - 81.)

Yleisesti robotin ohjelmointiin käytetään menetelmää, jossa robotin työkalu siirretään manuaalisesti haluttuun paikkaan ja tallentamalla pisteen koordinaatit

muistiin. Menetelmää kutsutaan opettamiseksi. Opettamisen ohella käytetään tekstuaalista ohjelmointia, jossa pystytään selkeämmin hyödyntämään loogisia rakenteita. Käytettäessä molempia tapoja yhdessä logiikkojen luomiseen hyödynnetään robotin käsiohjainta, jolla voidaan luoda ohjelma alusta loppuun. (Aalto ym. 1999, 78 - 81.)

Robotin työkalua voidaan liikuttaa eri tavoin eri liikepisteiden välillä. Lineaariliikkeessä robotin työkalu liikkuu suoraviivaisesti liikepisteiden välillä, kun taas nivelliikkeellä robotti hyödyntää nivelten kierto-ominaisuuksia päästäkseen päätepiinteseen nopeasti. Lineaariliikkeen ja nivelliikkeen lisäksi roboteille voidaan ohjelmoida ympyräliike, joka muodostuu aloitus- väli- ja lopetuspisteistä. (Aalto ym. 1999, 78 - 81.)

3 YHTEISTYÖROBOTIIKKA

Yhteistyörobotti on robotti, joka kykenee työskentelemään turvallisesti ihmisen kanssa samassa tilassa yhteisissä työtehtävissä. Yhteistyörobotti tukee työnteossa ihmistä ja helpottaa työtaakkaa. Yhteistyörobotti kykenee esimerkiksi kanttelemaan työkappaletta samalla, kun ihminen suorittaa kappaleelle toimenpiteen. (IFA, linkit Technical information -> Collaborative robots (COBOTS).) Teknisesti robotti on yhteistyörobotti silloin, kun se voi havaita ympäristössään tavallisuudesta poikkeavan muutoksen. Muutos voidaan havaita konenäöllä tai voimaanturilla. Muutoksesta, kuten törmäyksen aiheuttamasta voimasta tai havaitusta esteestä, aiheutuu robotin turvapysäytys. (Bélanger-Barrette 2015.)

Teollisuusrobottien kehittymisestä asti ihmiset ovat tehneet robottien kanssa yhteistyötä, mutta aidoilla eristettynä toisistaan. Robottien työskentelyalueiden eristäminen aidoin onkin todella tehokas ja edullinen tapa taata turvallisuus robotin kanssa työskentelijälle. Pienempien sarjojen, tuotevarianttien määrän kasvu sekä elinkaarien lyhentyminen lisäävät tarvetta joustavalle ja tehokkaalle valmistusmuodolle, johon ihminen-robotti-yhteistyö on vaihtoehtona. (Malm – Viitaniemi – Marstio – Toivonen – Koskinen – Venho – Salmi – Laine - Latokartano 2008, 2 - 3.)

Yhdistettäessä ihmisen ja robotin työskentelyalueet yhdistyvät myös ihmisen ja robottien parhaat puolet. Robotti kykenee toistamaan raskaan työnvaiheen luke-mattomia kertoja väsymättä ilman, että työn laatu heikkenee, kun taas ihminen tuo yhteistyöhön joustavuutta ja sopeutuvaisuutta muutoksiin. Lisäksi robotin työskentely on tarkkaa ja nopeaa, mutta vaatii myös kappaleiden syöttämiseltä ja niiden mitoilta tarkkuutta, jota ihminen ei vaadi. Yhteistyö ihmisen ja robotin välillä sallii tehokkuuden kasvun, laadun parantumisen, kapasiteetin lisääntymisen sekä lisäksi se parantaa työolosuhteita. Erityisesti monia työnvaiheita vaativien tuotteiden piensarjavalmistus tehostuu verrattuna automaattiseen ja manuaaliseen työpisteeseen. (Malm ym. 2008, 2 - 3.)

Yhteistyörobotiikan kehittyminen hyödyttää erityisesti pk-yrityksiä, joille perinteisten teollisuusrobottien hankinta on ollut kannattamatonta suurien yksikkökustannuksien ja vaadittavan osaamisen puutteen vuoksi. Kehityksen kulkiessa kohti yhteistyörobotiikkaa ja samalla kohti edullisempia robotteja lisääntyy myös robotiikan soveltamisen kannattavuus piensarjatuotannossa. (Miettinen 2016, 6.) Robottisolun käyttöönoton kustannusten vuoksi paljon työtehtäviä on jäänyt automatisoimatta siitä huolimatta, että paljon tehokasta robottitekniikkaa on saatavilla. Kustannusten vuoksi robotin käyttöönotto ei ole ollut monissa tapauksissa kannattavaa pitkän takaisinmaksuajan vuoksi. Perinteisen robotin käyttöönoton kustannuksia nostaa robottisolun konstruktion ja integroinnin monimutkaisuus. Mutkikkuuden seurauksena kustannuksia uppoaa projektin hallintaan, tapauskohtaiseen suunnitteluun, ja erikoisohjelmointiin. (Bouchard 2017, 24.)

Yhteistyörobotit tarjoavat helpon tavan ohjelman luomiseen. UR-robottien ohjelmointi suoritetaan kosketusnäytöllisellä ohjainpäätteellä. Päätteen kautta robottia voidaan liikuttaa kosketusnäytön nuolia koskettamalla. Lisäksi on mahdollista liikuttaa robottia manuaalisesti free drive -näppäintä painettaessa. Yhteistyörobotit ovat tyypillisesti kooltaan pieniä ja keveitä mahdollistaen robotin siirtämisen toiseen tehtävään lisäten joustavuutta layout-muutoksiin. Ohjelmoinnin nopeus ja joustavuus vähentävät integroinnin kustannuksia parantaen robotin käyttöönoton takaisinmaksuaikaa. (Universal Robots, [linkit Products -> UR robots benefits.](#))

3.1 Turvallisuus

Automaatiolaitteiden ja robottien kehittyminen ovat muuttaneet työskentelytapoja ja tuoneet mukanaan uusia työtehtäviä teollisuuteen samalla vähentäen raskaita, yksitoikkoisia ja vaarallisia työnvaiheita. Ihmisen tehtäväksi jää laitteiden ohjelmoinnin, häiriönpoiston ja kunnossapidon tehtävät. Uudenlaiset koneet voivat kuitenkin tuoda mukanaan uusia vaaratekijöitä tuotantoon suurien nopeuksien, tehojen ja energiamäärien myötä. Sen vuoksi on tärkeää luoda tuotantoteknisten näkökohtien lisäksi ihmiset huomioon ottava työympäristö. (Aaltonen ym. 1992, 72 - 73.)

Vaaratekijöitä voidaan ehkäistä ennakoimalla robottien ja automaatiolaitteiden käyttöönoton ongelmia ja ratkaisemalla ne suunnitteluvaiheessa. Laatimalla turvallisuusanalyyskejä käyttöönoton suunnitteluvaiheessa varmistetaan, että tärkeiden komponenttien vioittumisen seuraukset ovat ennalta arvioidut. Työturvallisuuslaissa säädellään siitä, miten työlöt on hoidettava vaarantamatta työntekijöiden terveyttä. (Aaltonen ym. 1992, 73.)

Jotkin yhteistyörobottien valmistajat hankkivat tuotteilleen kolmannen osapuolen myöntämän turvallisuussertifikaatin tuotteen turvallisuuden osoittamiseksi. Yksi turvallisuussertifikaatteja myöntävä organisaatio on saksalainen TÜV, jonka sertifiointiprosessi on tiukka. Yhteistyörobotin turvallisuussertifikaatti ei kuitenkaan takaa absoluuttista turvallisuutta, vaan siihen vaikuttaa lisäksi sovelluskohteen turvallisuus. (Cobots Ebook 2017 s. 5.)

Robottisolun käyttöönotossa on otettava huomioon turvallisuusriskit samoin, kuin uutta konetta suunnitellessa. Riskinarvioinnissa arvioidaan riskien suuruutta ja pienennetään niitä, kunnes ne saavuttavat hyväksyttävän tason. Lisäksi arviointiprosessissa on noudatettava organisaation sisäisiä turvallisuussääntöjä ja ohjeita, paikallisia sääntöjä ja työturvallisuuslakeja sekä ISO:n julkaisemia ohjesääntöjä. (Bouchard 2017, 24.)

3.2 Vaatimukset yhteistoiminnalle

Standardeissa SFS-EN ISO 10218-1 (2011, 36.) ja SFS-EN ISO 10218-2 (2011, 34.) on määritelty vähimmäistoiminnot, jotka yhteistyörobottien tulee täyttää. Hyväksytyjä vähimmäistoimintoja ovat robotin turvaluokiteltu valvottu pysäyttäminen käyttäjän astuessa työalueelle, liikekomentojen lähettäminen käsiohjauslaitteen välityksellä, määrätyn nopeuden ja etäisyyden ylläpitäminen käyttäjästä, ja robotin voiman ja tehon rajoittaminen luonnollisesti turvallisella suunnittelulla. ISO/TS 15066 (2016, V) täydentää ja tukee standardien ISO 10218-1 ja ISO 10218-2 tarjoamaa tietoa ja ohjeistaa, miten niitä tulee soveltaa yhteistyörobottien käytössä.

3.2.1 Turvaluokiteltu valvottu pysäyttäminen

Turvaluokitellussa robotin pysäyttämisessä robotin liike pysäytetään yhteistyötilassa, kun käyttäjä siirtyy työtilaan suorittamaan toimintoja. Kun yhteistyötilassa ei ole käyttäjää, voi robotti työskennellä itsenäisesti ilman rajoituksia. (ISO/TS 15066. 2016, 6 - 15.)

3.2.2 Käsiohjauksen käyttäminen

Käsiohjauksella toteutetussa yhteistoiminnassa käyttäjä lähettää käsiohjauksen laitteistolla liikekomentoja robottijärjestelmälle. Ennen kuin käyttäjän sallitaan astuvan yhteistyötilaan suorittamaan käsiohjauksen, suorittaa robotti turvaluokitellun pysäytyksen. Käsiohjaus suoritetaan vaikuttamalla manuaalisesti robotin välittömässä läheisyydessä olevaan ohjauslaitteeseen. (ISO/TS 15066. 2016, 6 - 15.)

3.2.3 Määrätyn nopeuden ja etäisyyden ylläpitäminen

Määrätyn nopeuden ja etäisyyden ylläpitämisellä mahdollistetaan käyttäjän ja robotin yhtäaikainen toiminta yhteistyötilassa. Tapaturman riskin pienentäminen saavutetaan ylläpitämällä suojaetäisyyttä käyttäjän ja robotin välillä kaikkina aikoina. Robotin liikkeen aikana robottijärjestelmä ei alita vähimmäistä suojaetäisyyttä käyttäjästä. Suojaetäisyyden alittuessa robottijärjestelmä pysähtyy. Käyttäjän siirtyessä kauemmaksi, saa robotti jatkaa toimintaansa. Robotin nopeuden alentuessa suojaetäisyys lyhenee vastaavasti. (ISO/TS 15066. 2016, 6 - 15.)

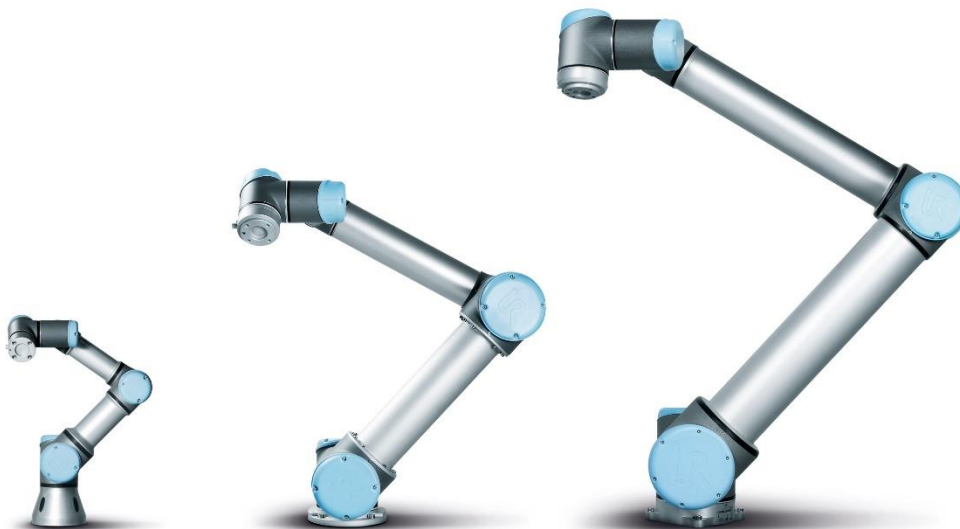
3.2.4 Robotin tehon ja voiman rajoittaminen

Robotin tehoa ja voimaa alentamalla sallitaan tahallinen tai tahaton kontakti robotin ja käyttäjän välillä. Teho- ja voimarajoitettu yhteistyötoiminta vaatii juuri tähän tarkoitukseen suunnitellun robottijärjestelmän. Riskiä pienennetään luonnollisesti turvallisella suunnittelulla tai turvallisuutta valvovalla ohjausjärjestelmällä, joka seuraa järjestelmän riskiarvioinnissa määriteltyjen vaarojen raja-arvojen ylitymistä. (ISO/TS 15066. 2016, 6 - 15.) Tehon ja voiman rajoittaminen on laajimmin sovellettu tapa toteuttaa yhteistyörobotti. Tehoa ja voimaa voidaan rajoittaa

eri tavoin, kuten robotin käyttämän sähkövirran seurannalla, voima-momenttiantureilla, joustavilla nivelillä tai käyttämällä pienitehoisia toimilaitteita. (Bernier 2013.)

3.3 Universal Robots

Työssä integroitavan robotin on valmistanut Universal Robots, joka on tanskalainen vuonna 2005 perustettu pk-yrityksien tarpeisiin suunniteltujen yhteistyörobottien valmistaja. Valikoimassaan Universal Robotsilla on kolme eri 6-akselista robottia, jotka ovat UR3, UR5 ja UR10, jotka ovat näkyvillä kuvassa 7. UR-roboteissa turvallinen yhteistoiminta on mahdollistettu tehoa ja voimaa rajoittamalla. Mallinimien numero ilmaisee kunkin robotin maksimihyötykuorman kilogrammoina. (Universal Robots, linkit About Universal Robots.)



KUVA 7. Universal Robotsin UR3-, UR5- ja UR10-robottikäsivarret (Universal Robots, linkit Media -> Downloads)

4 KOORDINAATTIMITTAUS

Koordinaattimittaus on mitattavan kappaleen koordinaattien määrittämistä kolmiulotteisessa avaruudessa tai kaksiulotteissa tasossa. Mittaaminen ei itsessään lisää tuotteen laatua, vaan sen avulla luodaan tietoa, jota voidaan hyödyntää tuotesuunnittelussa ja tuotteen valmistuksessa, sekä välittää organisaation sidosryhmille. Sen vuoksi, että mittaaminen on hidasta ja tuotantoa hidastavana tekijänä kallista, on tärkeää priorisoida mittaaminen tuotteen toiminnan kannalta oleellisiin muotoihin, mittoihin ja toleransseihin. Lisäksi mittauksia on syytä kohdistaa lastuavan sarjatuotannon alkaessa kiinnitysten, terien ja NC-ohjelmien kelpoisuuden varmistamiseen. Muotteja valmistettaessa on syytä kiinnittää huomiota viimeistelyelektrodeihin ja muotteihin, niiden varaosiin sekä ruiskuvalettujen tuotteiden tärkeisiin mittoihin ja piirteisiin. (Tikka 2009, 9 - 16.)

Oikean mittausmenetelmän valitseminen eri mitattaville kohteille olosuhteiden ja resurssien mukaan on keskeisessä roolissa jäljitettävien ja luotettavien mittaus tulosten saannin nopeuden kannalta. Ominaisuuksia, joihin mitattavassa kappaleessa on erityisesti kiinnitettävä huomiota ovat muun muassa kappaleen koko, massa, geometriset virheet, pinnan karheus, kovuus, lämpöpiteneiskeroin, lämpötila ja sen jakauma, kosteus, kimmomoduuli, kitka, magneettisuus, väri, kiilto ja puhtaus. (Tikka 2009, 9 - 10.)

Eri tapoja, joilla mittaaminen voidaan suorittaa, ovat muun muassa GPS, fotogrammetria, laserkeilain, laserseurain, laserskanneri, kaksoisteodoliittilaitteisto, takymetri, vaakituskone, monikamerakuvaus ja tässä työssä tarkasteltava koordinaattimittauskone. Koordinaattimittaukset poikkeavat ominaisuuksiltaan toisistaan suuresti ja ne koostuvat useista laitteista, ohjelmista ja menetelmistä muodostaen mittausjärjestelmän. Selvää rajaa sen välillä, mikä on koordinaattimittaus tapa ja mikä ei, ei ole helppo määrittää. Myös vanhoja mittausmenetelmiä on herätelty uudelleen digitalisaation ansiosta ja uusiakin menetelmiä kehitetään erityisesti suurten kappaleiden mittauksen, optisen digitoinnin ja mallinnuksen tarpeisiin. (Tikka 2009, 16.)

Mittausmenetelmiä, joiden perusteella koordinaattimittauskoneet voidaan jakaa ryhmiin, ovat koskettava- (kuva 8), video-, tai lasermittaus. Lisäksi on olemassa mittausmenetelmiä yhdistelevä koordinaattimittauskonetyyppi nimeltään monianturikoordinaattimittauskone. Koneet voidaan mittausmenetelmän lisäksi jakaa niiden rakenteen ja koon perusteella. Olennaisena osana mittauskoneeseen kuuluu sen ohjelmisto, jonka tärkeimpinä ominaisuuksina ovat käyttäjäystävällinen lii-
tyntä, avoin lähdekoodi ja CAD-yhteensopivuus. Koneiden ohjelmistoja päivitetään säännöllisesti, toisin kuin sen mekaniikkaa, joka on ajan myötä muuttumaton eikä sitä voi edullisesti modernisoida. (Tikka 2009, 16.)



KUVA 8. Renishaw PH10T motorisoitu mittauspää ja koskettava TP20 mittauskärki (Renishaw, linkit Resource centre -> New PHT motorized head for CMMs)

Koordinaattimittauskoneella määritetään mitattavan kohteen mittauspisteiden koordinaatit tasossa tai avaruudessa liikuttamalla optista tai mekaanista anturia. Mittauskoneita voidaan käyttää käsin, motorisesti tai numeerisesti ohjattuina. Jälkimmäisin mittaa työkappaleita automaattisesti ilman käyttäjää. Automaattisen toiminnan mittakoneelle mahdollistaa sen työkappalekohtainen mittausohjelma,

automaattinen pisteiden rekisteröinti sekä servo-ohjatut koneen liikkeet. Jokainen koordinaattimittauskone sisältää kappaleohjelman, jonka avulla muodostetaan kappalekoordinaatisto. Sen perusteella muodostetaan mitatuista pisteistä geometrioita ja lasketaan muotovirheet, joiden jälkeen saatuja tuloksia verrataan toleransseihin. (Tikka 2009, 180 - 181.)

4.1 Koordinaatisto

Koordinaattimittauskoneen liikkeet tapahtuvat suorakulmaisen karteesisen koordinaatiston mukaisesti Z-, Y- ja X-akseleita pitkin. Akseleiksi A, B ja C on nimetty kiertyminen Z, Y ja X-akselien ympäri. Mitutoyon valmistaman Crysta-Apex 900-sarjan koordinaattimittauskone ja sen koordinaatisto on esitetty kuvassa 9. Kuvan mukaisesti koordinaattimittauskoneessa Z-akseli kulkee pystysuoraan mittauskaran suuntaisesti. X- ja Y-akselit ovat KMK:n pöydän pinnan mukaisesti vaakatason suuntaisia. (Tikka 2009, 29.)

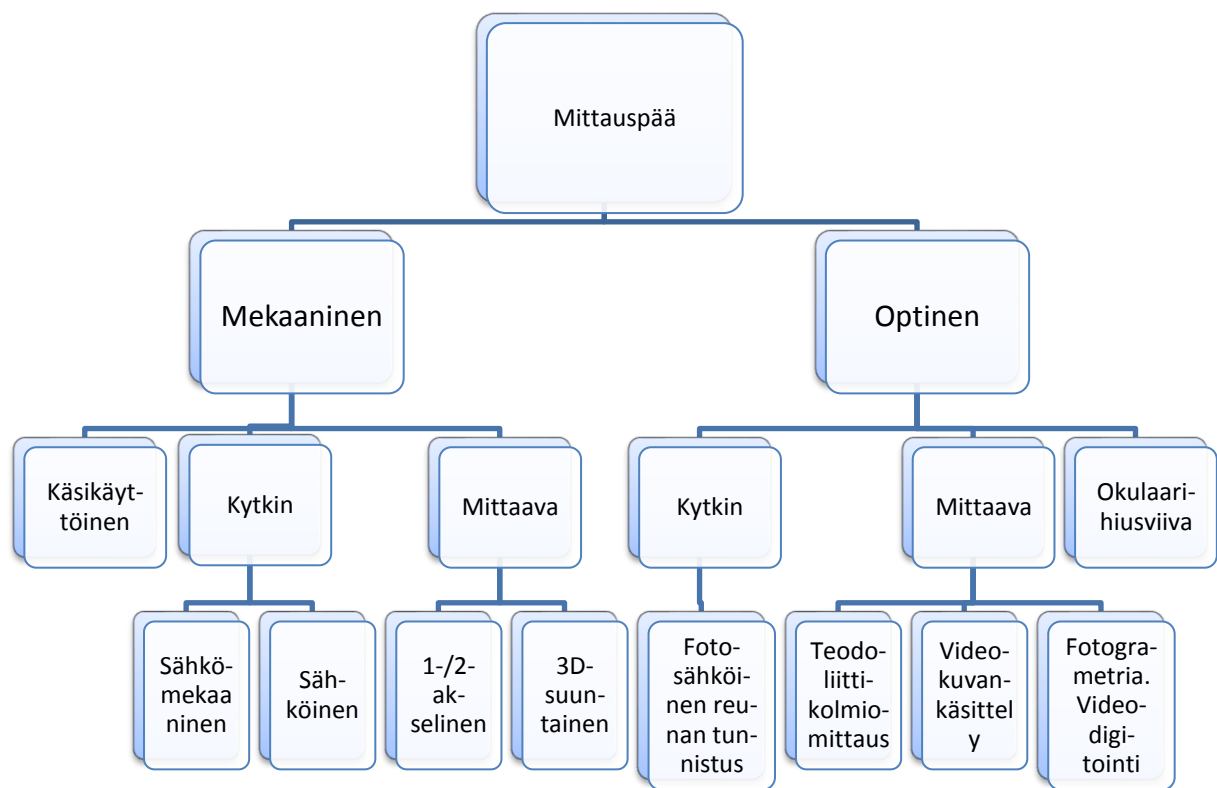


KUVA 9. Mitutoyo Crysta-apex 900-sarjan KMK ja ZXY-koordinaatisto (Crysta-Apex S series 2015, muokattu)

Siitä huolimatta, että mittakoneen akselit ovat kiinteitä, voi mitattavan kappaleen oma koordinaatisto erota siitä täysin. Mitattaessa kappaletta muodostuu tälle oma koordinaatisto mittaustulosten perusteella. Kappaleet mitataan aina kappalekoordinaatiston mukaisesti. Kappaleen origon määrittämisen jälkeen toimivat NC-ohjaus ja mittaustulosten muunnos sen mukaisesti. Mittaustuloksia saadaan tarkennettua entisestään iteroiden, kun 3D-suuntaus on tehty riittävän huolellisesti ja sen seurauksena NC-ohjauksen liikuttama anturi paikoittuu mitattavaan kohteeseen paremmin kerta toisensa jälkeen. (Tikka 2009, 29 - 31.)

4.2 Mittausanturit

Koordinaattimittauskoneisiin on saatavilla eri periaatteilla toimivia antureita, jotka perinteisesti jaetaan kahteen osaan, joita ovat optiset sekä kappaletta mekaanisesti koskettavat anturit (kuva 10). Nykypäivänä on mahdollista käyttää samassa mittauskoneessa optista ja mekaanista mittausmenetelmää ja hyödyntää molempien vahvuudet. Esimerkiksi muovituotteet rikkoutuvat helposti teräskappaleisiin verrattuna. Lisäksi ne sisältävät ruiskuvalussa syntyneitä vinoja päästöjä sekä, pieniä ja pyöreitä kaksoiskaarevia pintoja. Muovituotteiden muodoista ja rakenteista johtuen niitä on hankala mitata käyttämällä ainoastaan yhtä menetelmää. (Tikka 2009, 33 - 35.)



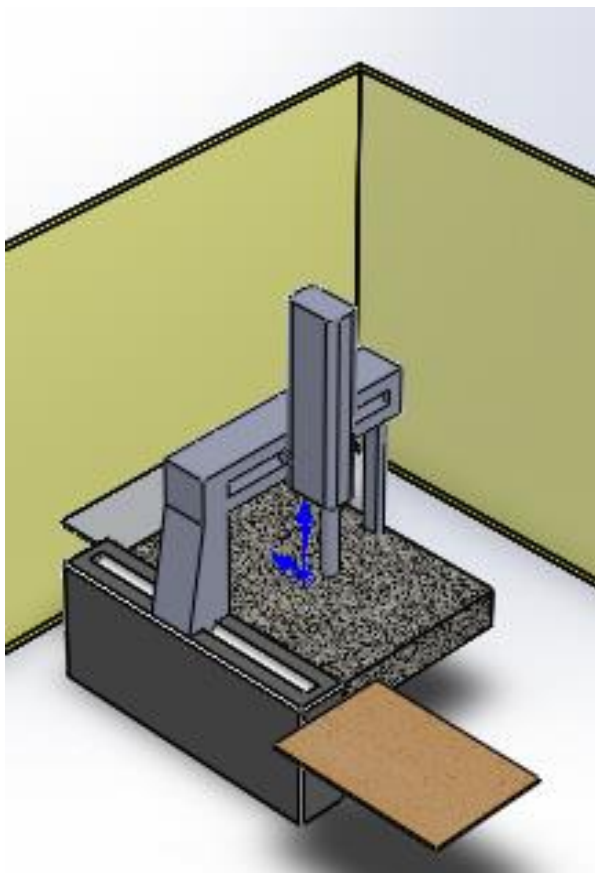
KUVA 10. Toimintaperiaatteellinen mittausantureiden jako

4.3 Koordinaattimittauskoneet

Koordinaattimittauskoneen pääkomponentteihin kuuluvat kone itsessään koordinaatistoinen ja NC-ohjaimineen, mittauspää ja anturit, tietokone ja siihen asennettu mittausohjelma, joka kerää, käsittelee ja laskee mittautulokset. Kone kuljettaa mittauspäättä, joka koskettaessaan mitattavaa kappaletta tuntoelimen tavoin rekisteröi mitattavasta kohdasta pisteen koordinaatit. Rakenteeltaan eri KMK:et poikkeavat hiukan toisistaan. (Tikka 2009, 45.)

Yleisin KMK rakenteen mukaan on portaalityyppinen KMK (kuva 11 ja kuva 9), joka on muodostettu suoraviivaisista liikeakseleista ja sisältää kiinteän pöydän

kappaleen kiinnittämistä varten. Kehityksessään portaalikoneet seuraavat tietotekniikan kehitystä, jonka myötä liikenopeudet ja käytettävyys parantuvat. Useat valmistajat käyttävät työpöytänä ja runkona isoa tasaiseksi hiottua kiveä, mikä lisää koneen jyrkyyttä ja parantaa sen käyttömahdollisuuksia huonoissa olosuhteissa, kuten verstaissa. Suomessa yleisimmin on käytössä keskikokoisia mittakoneita, joilla kyetään mittaamaan mekaanisesti ja käsikäyttöisesti keskisuuria kappaleita. (Tikka 2009, 47 - 49.) Tässä työssä käytetään Mitutoyon valmistamaa Crysta-Apex S-sarjaan kuuluvaa Crysta-Apex S9106 -koordinaattimittauskonetta ja sen MCOSMOS-ohjausohjelmistoa.



KUVA 11. 3D-malli portaalityypin KMK:sta

4.4 MCOSMOS-ohjelmisto

MCOSMOS on Mitutoyon laitteille suunniteltu ohjelmisto, joka sallii integraation eri sovelluksille parantaen laadunhallinnan tehokkuutta. Ohjelmistosta on olemassa eri varustelutasoja MCOSMOS-1:n perusgeometriamoduulista, MCOS-

MOS-3:n skannausmoduuliin. GEOPAK-perusgeometriamoduuli tarjoaa helppo-käyttöisen ohjauskonsolin sekä visuaaliset askel-askeleelta-tyyppiset ohjeet järjestelmän käyttämiseen. Perustason ohjelmisto sisältää myös kehittyneitä joustavia työkaluja, kuten kaavojen laskenta- ja variaabelien käyttömahdollisuuden sekä logiikkakomentoja. SCANPAK-skannausmoduuli raportoi kappaleiden ulottuvuuksien eroavaisuuksista nimellisprofiilista määrittääkseen poikkeako piirre toleransseista. (MCOSMOS software 2015.)

5 ANTURIT

Opinnäytetyössä kappaleenvaihdon automatisointiin hyödynnettiin kahta kapasitiivista anturia. Niitä ja if-else-lauseita hyödyntämällä saatiin suoritettua halutut toiminnot halutussa tilanteessa. Anturit mittaavat fysikaalisia suureita ja muuttavat tuloksina saadut signaalit muotoon, jossa koneen ohjausjärjestelmä pystyy niitä käsittelemään. Tarvittavaa tietoa voi olla esimerkiksi eri osien asemat, liikenopeudet tai voiman, paineen ja lämpötilan määrät. Antureita on olemassa laaja valikoima, joita voidaan hyödyntää eri sovelluksiin. Valikoiman laajuus tarjoaa monipuolisuutta ja tehokkuutta tuotteen luomiseen lisäten tuotteen kilpailukykyä. Laaja anturivalikoima luo myös haasteita suunnittelijalle oikean anturin valintaan. (Koivuviita 1997, 3.)

Koneautomaatiota suunnitellessa tullaan harvoin toimeen ilman antureita. Niiden tarvittavat määrät ja tyyppien variaatiot lisääntyvät automatisoitavan kohteen monimutkaistuesssa. Suuri antureiden määrä ei kuitenkaan takaa koneen paremmuutta. Suunnitteluvaiheessa ideoinnilla ja huolellisuudella voidaan karsia antureiden määrää esimerkiksi rakenteita muuttamalla. Liian pitkälle karsimisessa ei kannata mennä siitä mahdollisesti aiheutuvien virhetoimintojen vuoksi. Esimerkiksi aikaviivejärjestelmässä kitkavoiman muutos voi aiheuttaa ennen pitkään virhetoiminnon. (Koivuviita 1997, 4.)

Onnistuneessa anturoinnissa mitattava fysikaalinen suure tunnetaan tarkasti. Anturit ovat usein herkkiä ja saattavat mennä epäkuntoon ylikuormituksista. Mikäli ylikuormituksen välttämiseksi anturi ylimitoitetaan, heikentyy mittaustarkkuus. Valintaan vaikuttavat myös ympäristötekijät, kuten esimerkiksi pölyisyys, käyttölämpötila ja kosteus. (Koivuviita 1997, 4.)

Anturit voidaan jakaa analogisiin ja digitaalisiin antureihin niiden lähettämän signaalin perusteella. Analogiset anturit lähettävät mitattavan suureeseen verrannollisen signaalin jännitteenä tai virtana, toisin kuin digitaaliset anturit, joiden lähtösuure on digitaalinen. (Koivuviita 1997, 4.) Digitaalisessa tiedonsiirrossa signaali muutetaan analogisesta digitaalseksi AD-muuntimella, jolloin signaali sisältää numeeriset arvot, joita data kuvaa. Digitaalisen signaalin etuna on parempi

häiriövarmuus ja virheiden helpompi korjaaminen. (Analoginen vs. digitaalinen tiedonsiirto 2003.)

5.1 Mekaaninen rajakytkin

Yksinkertaisimmillaan anturina voidaan pitää mekaanista rajakytkintä, jossa kosketin tai koskettimet sulkevat virtapiirin mekaanisen voiman vaikutuksesta. Virtapiirin sulkeutuminen johtaa haluttuun toimintoon. Rajakytkimissä koskettimia ohjaavat ohjaimet. Ohjaimina voidaan käyttää esimerkiksi eri tyyppisiä vipuja. Valitessa mekaanista rajakytkintä on huomioitava, että kytkin kuluu mekaanisten voimien vaikutuksesta. Esimerkkinä rajakytkimen sovelluskohteesta voidaan mainita teollisuusrobotin turvahäkin oveen asennettu turvaovirajakytkin. (Kuva 12.) (Koivuviita 1997, 5.)

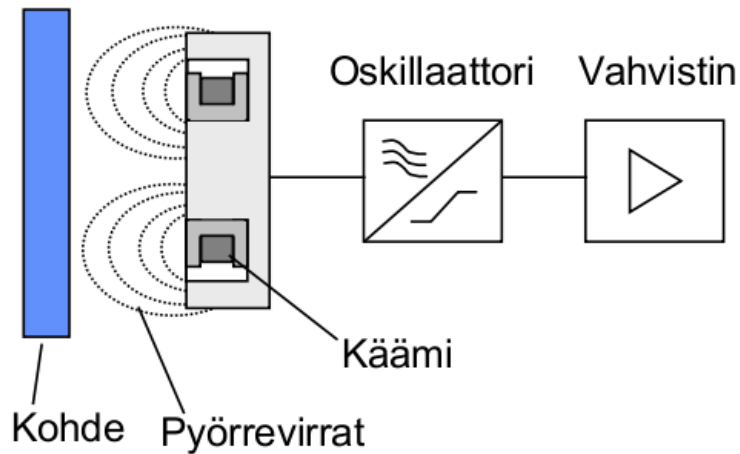


KUVA 12. Trojan 5/6 turvaovirajakytkin (Movetec, linkit Tuotteet -> Koneturvallisuus -> Turvarajakytkimet -> Kielityyppiset turvarajakytkimet)

5.2 Induktiiviset anturit

Induktiivisten antureiden toiminta perustuu sen sisältämän oskillaattoriin kelan käämiin syötettävän vaihtojännitteen aiheuttamaan magneettikenttään. Kun anturin magneettikenttään tuodaan metallinen tai sähköä muuten hyvin johtava materiaali, syntyy oskillaattoriin kuormitus materiaalin aiheuttamista pyörrevirroista (kuva 13). Oskillaattorin värähtelytaajuuden vaimennuttua syntyy anturin

lähtöpiirissä ulostoiminto aiheuttaen anturista lähtevän signaalin. (Koivuviita 1997, 6.)



KUVA 13. Induktiivisen anturin toimintaperiaate (Rajakytkimet 2010)

5.3 Kapasitiiviset anturit

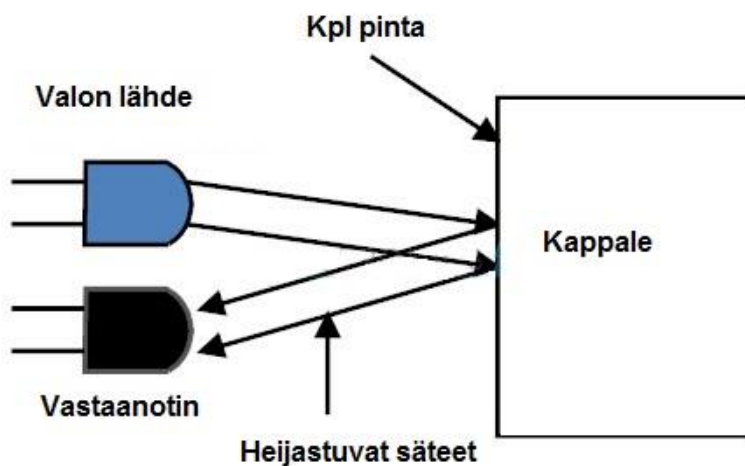
Kapasitiivinen anturi sisältää myös oskillaattoriin, kuten induktiivinen anturikin. Oskillaattoriin kapasitanssia muuttaa tuntopinnan edessä oleva materiaali. Kun materiaalin dielektrisyys vaikuttaa oskillaattoriin kapasitanssiin, lähettää anturi signaalin. (Koivuviita 1997, 8.) Opinnäytetyössä kapasitiivisten antureiden (kuva 14) signaali syntyi KMK:n rubidiumisen mittauskärjen dielektrisyden vaikutuksesta.



KUVA 14. Opinnäytetyön kapasitiiviset anturit koteloon asennettuina

5.4 Optiset anturit

Optiset anturit (kuva 15) muodostuvat valon lähteestä ja transistorista, joka vastaanottaa valoa. Signaali syntyy valonsäteiden katkeamisesta tai sen heikkenemisestä. Optisen anturin toteuttamiseen on olemassa useita periaatteita, kuten muun muassa vastaanotinperiaate, lähetin-vastaanotinperiaate, suoraan heijastava periaate sekä V-heijastava periaate, jossa lähetin ja vastaanotin sijaitsevat samassa kotelossa. Valonlähteenä optisissa antureissa käytetään hehkulampua tai valodiodia. Hehkulampusta lähtevä valo häiriintyy kuitenkin herkästi ulkopuolisesta valosta. Sen vuoksi esimerkiksi auringonvalo voi aiheuttaa virheellisiä signaaleja. Hehkulamppujen käyttöikä on häiriöherkkyyden lisäksi niiden heikkoutena. Sen vuoksi valonlähteenä käytetään useimmiten diodeja. Haasteita optisten antureiden käytölle luovat epäpuhtaudet ilmassa ja lika, jota voi kerääntyä optisille pinnoille. (Koivuviita 1997, 12.)



KUVA 15. V-heijastavaa periaatetta hyödyntävä optisen anturin esimerkki (Electronics Hub, linkit Home -> Tutorials -> IO Devices -> IR Sensor, muokattu)

6 AUTOMAATIOSOLUN LAYOUT

Työn alussa tuli suunnitella layout mittaussoluun, jossa robotti ja KMK työskentelevät. Layout on suomen kieleen vakiintunut termi, jolla viitataan tuotantojärjestelmän koneiden, laitteiden, osaprosessien, kulkureittien ja varastopaikkojen sijoitteluun tuotantoympäristössä. Eri layout-tyypit, joita ovat funktionaalinen, tuotantolinja- ja solulayout, voidaan jakaa kolmeen edellä mainittuun ryhmään työnkulun ja tuotantolaitteiden sijoittelun perusteella. (Haverila - Uusi-Rauva – Kouri - Miettinen 2009, 475 - 496; Martinsuo – Mäkinen – Suomala - Lyly-Yrjänäinen, 2016, 155 - 164.)

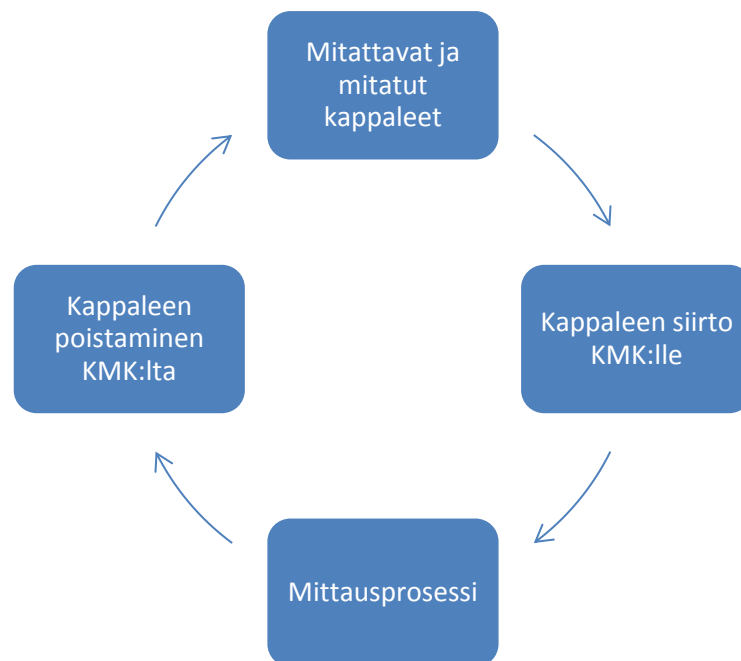
Tuotantolinjalayoutissa tuotantolaitteet ovat sijoitettu työnkulun mukaiseen järjestykseen, ja sillä pyritään alhaisiin tuotekustannuksiin. Tuotantolinjan koneet ovat pitkälle erikoistuneita ja korkeasti kuormitettuja, jotta suuriin volyyymeihin ja alhaisiin tuotekustannuksiin päästään siitä huolimatta, että tuotantolinjan rakennuskustannukset ovat suuret. Häiriöherkkyys on tuotantolinjoja vaivaava ongelma, sillä häiriötilanne vaikuttaa herkästi koko linjan tuottavuuteen ja laatuun. (Haverila ym. 2009, 475 - 496; Martinsuo ym. 2016, 155 - 164.)

Funktionaalisessa layoutissa työpisteet ja laitteet on ryhmitelty niiden käyttötarkoituksen mukaan. Esimerkiksi tuotteiden pintakäsittelyyn liittyvät työtehtävät suoritetaan maalaamossa. Käytettävät tuotantolaitteet ovat yleiskoneita, joilla voidaan joustavasti valmistaa tuotteita eri tuoteperheistä. Valmistettavien tuotteiden skaalan vuoksi tuotantomäärät voivat vaihdella ja ne voidaan valmistaa yksittäiskappaleina tai sarjoina. (Haverila ym. 2009, 475 - 496; Martinsuo ym. 2016, 155 - 164.)

Eri työnkulkujen toisistaan poikkeavuuden takia automaatiota on hankalaa hyödyntää tehokkaasti. Tuotantoa funktionaalisessa layoutissa ohjataan järjestelmällä eri koneille jonottavia töitä sekä aikatauluttamalla niitä. Siitä syntyvät työnjono kuitenkin pidentävät läpäisyaikaa. Työpisteiden välimatkat kasvattavat käsittely- ja kuljetuskustannuksia, jonka vuoksi layoutin haasteeksi muodostuu vä-

limatkojen minimointi sekä välivarastojen vähentäminen. Funktionaalisen layoutin toteutus on kuitenkin helppoa ja edullista verrattuna tuotantolinjaan. (Haverila ym. 2009, 475 - 496; Martinsuo ym. 2016, 155 - 164.)

Tuotantosolu on eri koneista ja työpisteistä koottu ryhmä, joka suorittaa tietyn työnvaiheen tai jonkin komponentin valmistukseen. Kuvassa 16 on esitetty esimerkki automaattiosolun työkierrosta. Solulayoutin voidaan katsoa olevan tuotantolinjalayoutista ja funktionaalisesta layoutista tietynlainen välimuoto, jossa solut on järjestetty funktionaalisesti, mutta solun sisällä työnvaiheet etenevät tuotantolinjamaisesti. Solulayout lyhentää läpäisyajoja verrattuna funktionaaliseen layoutiin, eikä siinä esiinny välivarastoja. Lisäksi sen materiaalivirta on yksinkertainen. (Haverila ym. 2009, 475 - 496; Martinsuo ym. 2016, 155 - 164.)



KUVA 16. Esimerkki solulayoutin työkierrosta

Robottisoluna voidaan pitää työpistettä, jossa suoritetaan valmistusprosessin työtehtäviä, ja se sisältää robotin. Robottisolusta on järkevämpää puhua integraation yhteydessä pelkän robotin sijaan, sillä integraatioon vaaditaan muitakin komponentteja, kuin pelkkä robottikäsi. Prosessia automatisoidessa, sama prosessi on voitu aikaisemmin tehdä manuaalisesti tai siinä voidaan luoda kokonaan uusi toiminto. (Bouchard 2017, 17 - 18.)

7 KOORDINAATTIMITTAUSKONEEN AUTOMATISOINTI

Opinnäytetyön tavoitteena oli koordinaattimittauskoneen kappaleenvaihdon automatisoiminen. Tätä varten kehitettiin testisarja kappaleita, joista osa valmistettiin virheellisiksi. Testisarjan avulla mitattiin automaattisen prosessin toimintaa solussa. Testisarjan suunnittelun lisäksi työssä perehdyttiin UR-robotin ohjelmointiin, käyttämiseen ja ominaisuuksiin.

Mittausprosessia varten tarvittiin kappaleiden liikkumisen estävä kiinnitin. Sen vuoksi suunniteltiin menetelmä mitattavan kappaleen kiinnittämiseen. Automatisoidussa prosessissa tarvittiin menetelmä KMK:n ja robotin keskinäistä viestintää varten. Tähän tarkoitukseen sovellettiin kahta kapasitiivista anturia ja mahdollisuutta KMK:n ohjelmointiin.

Robottisolun toiminnan mahdollistamiseksi hyödynnettiin kahta robotin ohjausyksikköön kytkettyä kapasitiivista anturia ja langatonta näppäimistöä. Robotin siirrettyä kappaleen mitattavaksi käynnistää se KMK:n mittausohjelman painamalla enter-näppäintä langattomasta näppäimistöstä (kuva 17). KMK:n suoritettua mitaamisen tallentaa se mittauspöytäkirjaan tuloksen, jonka mukaisesti se siirtää mittauskärjen jommankumman anturin eteen. Anturi 1 aiheuttaa hyväksyvän signaalin ja anturi 2 hylkäävän.

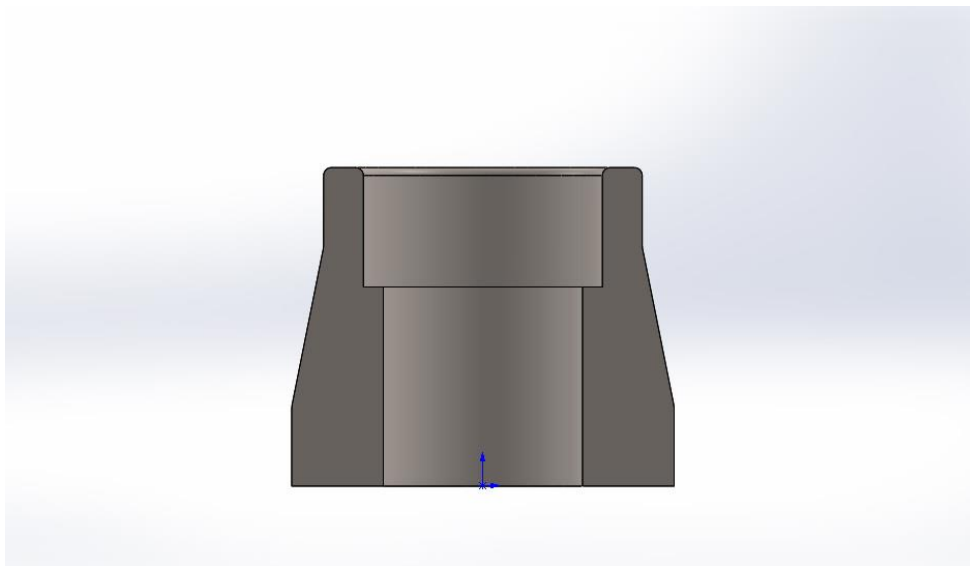


KUVA 17. Langaton näppäimistö.

Sillä välin robotti on odottanut signaalia anturilta. Signaalin saatuaan aliohjelma käynnistyy, jolloin robotti siirtää kappaleen eri lavalle eri signaalin mukaan. Sen seurauksena hyväksytyt ja hylätyt kappaleet erottuvat toisistaan omille lavoilleen. Sen jälkeen robotti ja KMK:n mittauspää palaavat alkuasemiinsa ja seuraava kappale voidaan asettaa mittauspisteeseen. Ohjelmien toiminnot mahdollistettiin käyttämällä ehtolauseita.

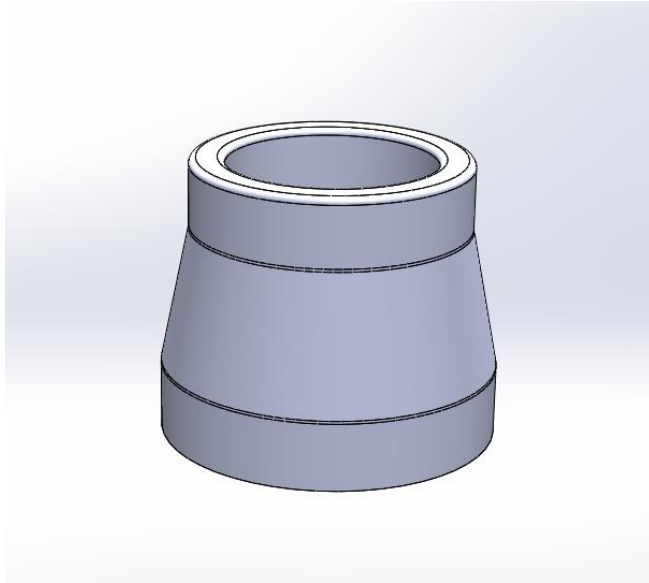
7.1 Testisarjan suunnittelu

Testisarjan kappaleista luotiin 3D-malleja Solidworks-ohjelmistolla (kuva 18) annettujen spesifikaatioiden mukaisesti. Kappaleiden tuli olla rakenteeltaan ja muodoiltaan sellaisia, että robotti kykenee manipuloimaan niitä nykyisillä tarraimilla, kappaleet kyetään valmistamaan käytössä olevilla koneilla käytössä olevista materiaaleista sekä mittauskone kykenee ne mittaamaan. Valmistettava kappale sai olla muodoiltaan yksinkertainen, koska opinnäytetyön tavoitteena ei ollut tutkia KMK:n mittauskykyä.



KUVA 18. Poikkileikkaus testisarjan kappaleesta

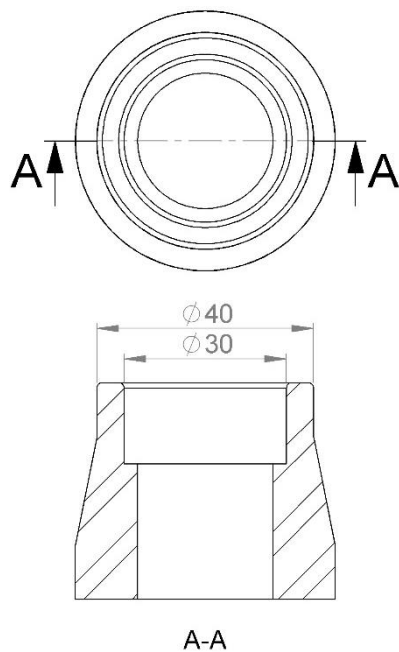
Aluksi luotiin kolme yksinkertaista mallia eri vaihtoehtoista, joista valittiin valmistettavuuden ja yksinkertaisuutensa perusteella pyörähdyskappale. Siten se voitiin valmistaa Ø50 mm pyöröaihiosta sorvaamalla. Kappale (kuva 19) oli myös yksipuoleinen, jolloin yhdestä aihioista pystyttiin sorvaamaan useita kappaleita kerralla.



KUVA 19. Testikappaleen 3D-projektio

7.1.1 Testikappaleen piirustus

Kuva 20 on piirustus testikappaleesta. Kuvassa näkyvät mitattavat dimensiot, joita mittauskoneella mitataan. Dimensioille valittiin toleranssit, joiden perusteella kappaleet jaettiin hyväksytyihin ja hylättyihin kappaleisiin. Toleranssit valittiin sellaisiksi, että puolet kappaleista ovat hyväksytyjä ja puolet hylättyjä.

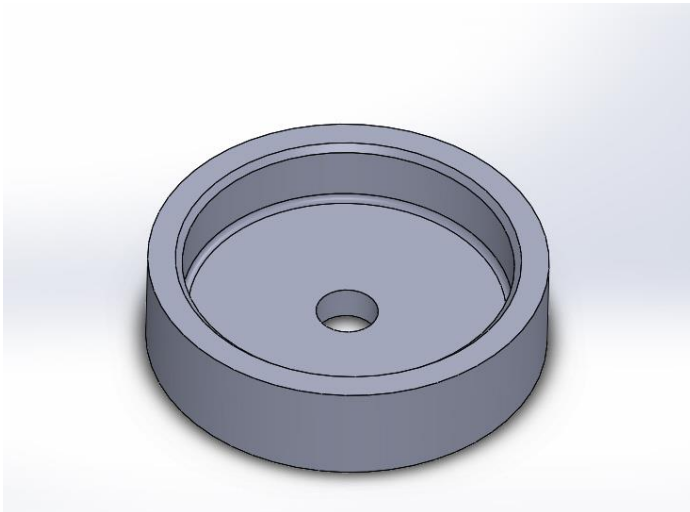


KUVA 20. Piirustus testikappaleesta.

7.2 Kiinnitysmenetelmä

KMK:n mittauskärjen koskettaessa testikappaleen mittauspintoja arvioitiin mahdolliseksi, että mittausvoima voi ylittää kappaletta paikallaan pitävän kitkavoiman. Tämän vuoksi tarvittiin kiinnitin testikappaleen paikallaan pitämiseksi, jotta mitaustulokset eivät vääristy.

Kiinnitysmenetelmän tuli olla yksinkertainen ja kustannustehokas. Lisäksi suunnitteluun vaikutti robotin liiketarkkuudet. Sen vuoksi menetelmästä luotiin Solidworks-ohjelmistoa käyttämällä malleja, joissa kaikissa kiinnitys tapahtuu passiivisesti ilman liikkuvia osia. Kiinnitysmenetelmien mallien suunnittelussa hyödynnettiin KMK:n graniittipöydässä olleita M8-kierrereikiä. Malleista valittiin kaksi menetelmää, joita molempia päätettiin kokeilla niiden helpon valmistettavuuden ja edullisuuden vuoksi.



KUVA 21. Kiinnittimen ensimmäinen malli

Kappaleista valmistettiin prototyypit 3D-tulostamista hyödyntämällä. Prototyyppien avulla huomattiin, että kuvassa 21 näkyvä testikappaleen ulkohalkaisijalta tukeva kiinnitin asettui kaikkiin kappaleisiin paremmin, mitä sisähalkaisijalta tukeva. Tämän todettiin johtuvan siitä, että testikappaleiden ulkohalkaisijoissa oli vähemmän vaihtelua, kuin sisähalkaisijoissa.

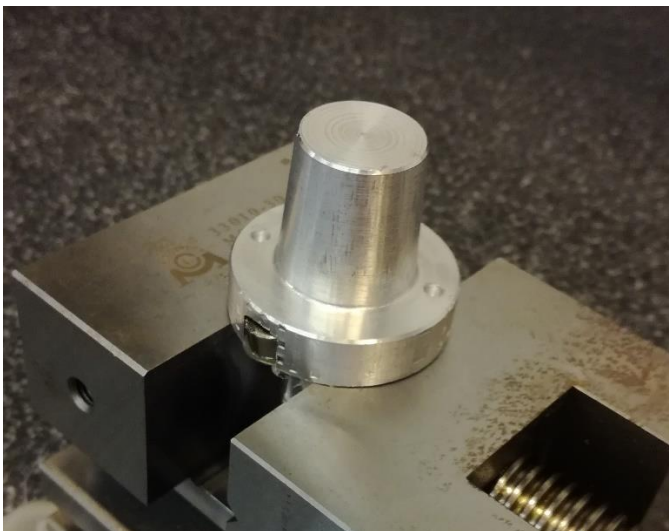
Testikappaleiden asettaminen kiinnittimeen ja irrottaminen siitä vaativat kuitenkin voimaa, jonka vuoksi kiinnittimen mallia muokattiin. Sen välystä lisättiin ja sen

pohjalle lisättiin testikappaleita keskittävät viisteet. Lisäksi pohjalle lisättiin kiinnitysholkki, jonka tarkoitus oli lisätä tukea testikappaleen sisähalkaisijalle. Muokattua mallista luotiin alumiinista sorvaamalla toinen prototyyppi. (Kuva 22.)



KUVA 22. Alumiinista sorvattu kiinnittimen toinen prototyyppi

Lopulta ilmeni ongelmia robotin kyvyssä asettaa testikappaleet kiinnittimeen tarkasti. Aiheutuneen ongelman vuoksi jouduttiin suunnittelemaan ja valmistamaan kolmas kiinnitysmenetelmän prototyyppi. Kolmannen kiinnitysmenetelmän muokaksi valittiin katkaistu kartio ja se valmistettiin alumiinista sorvaamalla. Prototyyppi suunniteltiin kiinnitettäväksi ruuvipuristimeen. Väljyyden aiheuttaman mitavaihtelun syntymistä ennakointiin asentamalla siihen magneetit. (Kuva 23.)

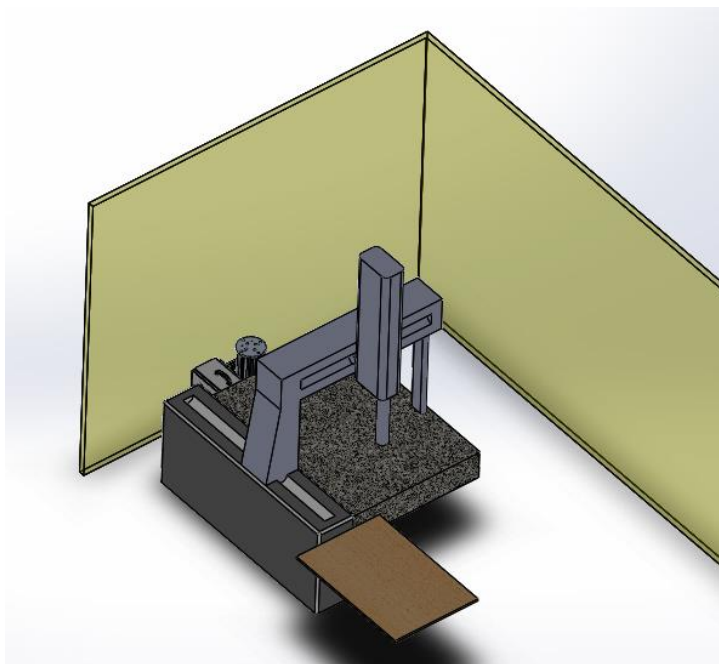


KUVA 23. Lopullinen kiinnitysmenetelmä.

7.3 Automaatiosolun layout

Robotin käyttöönottoprosessin alussa tuli suunnitella layout, jotta saadaan tietoa robotin ulottuvuuksista. Layout-suunnittelun keskeisenä haasteena oli saada robotti mahtumaan pieneen tilaan KMK:n ja solun seinän välissä. Esteenä robotin muille sijoituspaikoille oli robotin liikkuva portaali sekä koneen eteen käyttäjälle jätettävä työtila. Lisähuomioitavaa oli koneiden keskinäisen törmäyksen välttäminen. Robotin teho- ja voimarakoitetusta yhteistyötoiminnasta huolimatta kontaktia robotin ja mittakoneen välillä ei voida sallia KMK:n erittäin herkkien mittauskärkien vuoksi.

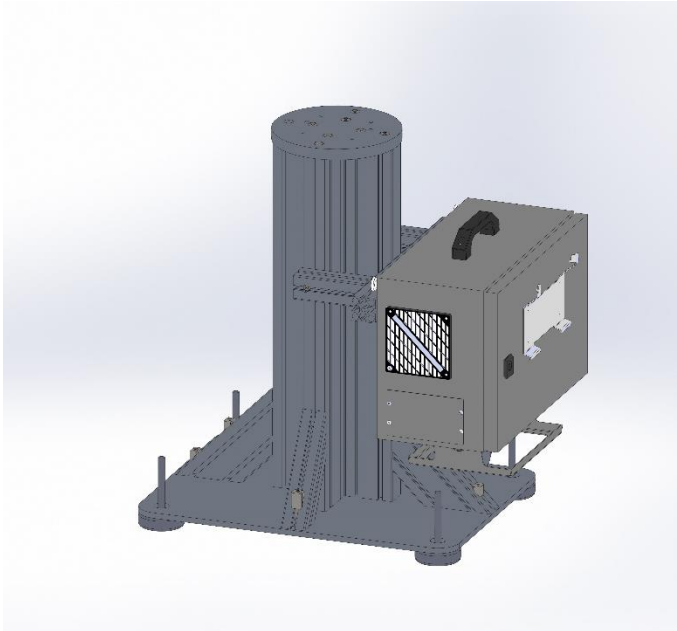
Layout-suunnittelu aloitettiin dokumentoimalla ja mittaamalla KMK:n ympäristö. Mittausten perusteella laadittiin Solidworksillä 3D-malli (kuva 24), jonka perusteella layout-piirustus (liite 1) luotiin. 3D-malli siirrettiin RoboDK-ohjelmistoon, jossa tutkittiin robotin liikeratoja ja törmäysriskejä.



KUVA 24. Solun 3D-malli

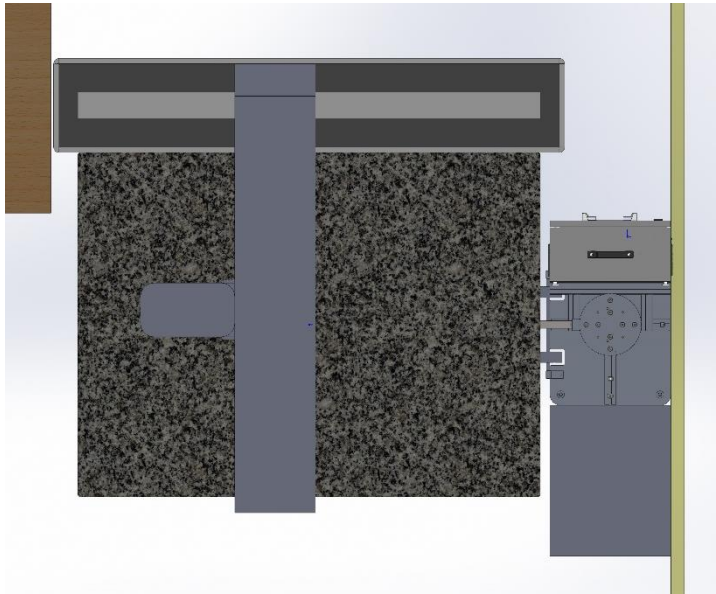
Robotin lisääminen soluun vaati alustan, johon se voidaan kiinnittää. Tähän tarkoitukseen käytettiin alumiiniprofiilista valmistettua pylvään mallista jalustaa

(kuva 25), jonka rullien avulla jalustaa ja robottia voidaan liikuttaa yhdessä. Robotti kiinnitettiin koneistettuun levyyn jalustan päälle kuusiokoloruuvein. Yhdistelmän korkean painopisteen vuoksi tarkastettiin robotin ja jalustan kaatumisriski.



KUVA 25. Robotin jalusta ja ohjausjärjestelmä

Robotin tarraimeen asetettiin sen maksimikuorman suuruinen kappale ja robotin käsivarsi siirrettiin sen ääriasentoon jalustan heikommin tukevan sivun suuntaisesti. Todettiin, että robotti pysyy tasapainossa, mutta on lähellä rajaa menettää tasapaino. Tämän vuoksi päätettiin lisätä kaksi 10 kg levypainoa jalustan juureen, jolloin kaatumisriski saatiin minimoitua. Jalustan lisäksi soluun tarvittiin lava, jonka päälle mitattavat kappaleet asetettiin. Tähän tarkoitukseen käytettiin 450 x 560 x 675 mm rullalaatikkoa, joka sopi mitoiltaan parhaimmin KMK:n ja solun seinän väliseen tilaan. (Kuva 26.)



KUVA 26. Solun 3D-malli ylhäältä kuvattuna

7.4 Kuvaukset laitteiden ohjelmista

Insinööritöitä suoritettaessa syntyi samalla dokumentaatiot robotin ja KMK:n ohjelmista ja ehtolauseista, joilla ne haarautettiin. Kaaviot ohjelmista ja ehtolauseista esitetään tässä kappaleessa.

7.4.1 Mittauskoneen ohjelma

Insinööritöiden aikana luotiin mittauskoneelle ohjelma (liite 2), jolla toistuva mittaus saadaan suoritettua. Ohjelma koostuu useista toiminnoista, kuten esimerkiksi kärkiyhdistelmän vaihtamisesta, kappalekoordinaatiston lataamisesta ja kalibroinnista sekä itse mittaamisesta. Aloitusparametreihin kuuluvat edellä mainittu kärkiyhdistelmän vaihto ja pöytäkirjan avaaminen. Ohjelma sisältää aloitusparametrien lisäksi osan, jolla mitattavan kappaleen koordinaatisto keskitetään kappalekohtaisesti. Siten saadaan tarkempia mittaustuloksia.

Aloitusparametrien suorittamisen jälkeen ohjelma asettaa CNC-parametrit, kuten liikenopeuden, mittausnopeuden ja turvaetäisyyden mittauskärjen ja kappaleen pinnan välillä. KMK:n mittauskärjen liikkuminen eri pisteiden välillä tapahtuu CNC-ajona. Pisteet määritellään ohjelmaan koordinaatteina.

Koordinaattimittauskoneen ohjelman alkuun lisättiin ohjelmoitava pysäytys. Tämä oli kappaleenvaihdon automatisoinnin kannalta tärkeä toiminto, jotta robotti pystyi tuomaan ja poistamaan kappaleen turvallisesti. Ohjelmoitava pysäytys pysäyttää KMK:n toiminnan ja ilmoittaa pysäyttämisestä PC:n näyttöön aukeavalla ikkunalla. Robotin painaessa enteriä ilmoitus sulkeutuu ja ohjelma jatkaa seuraavaan vaiheeseen.

Mittausprosessissa kappalekoordinaatisto kalibroitiin ennen varsinaisia mittauksia. Tämä toteutettiin mittaamalla testikappaleen yläpuolen XY-taso ja linjaamalla kappaleen koordinaatisto sen suuntaiseksi. Seuraavaksi mitattiin pisteitä kappaleen ulkohalkaisijalta. Pisteistä muodostui elementti nimeltä Ympyrä 2. Kappalekoordinaatiston nollapiste siirrettiin vielä Ympyrä 2 -elementin keskipisteeseen XY-tasossa. Kalibrointi oli tarpeellinen kappaleiden aseman vaihdellessa robotin liikkeiden paikoitustarkkuuden vuoksi.

Kappaleen dimensiot (kuva 20), jonka perusteella hylkääminen tai hyväksyminen tapahtui, mitattiin skannaamalla. Skannauksessa mittauskärki liikkui koskettaen mitattavien halkaisijoiden pintoja. Mittauksessa syntyi tuhat mittauspistettä, joiden avulla saatiin tarkka arvo halkaisijalle.

Tulosten erittelyä varten ohjelmassa hyödynnettiin toimintoa, jolla voitiin tulostaa tekstiä pöytäkirjaan. Tulostettuun tekstiin saatiin lisättyä juokseva järjestysnumerointi kappaleille sekä aika ja päivämäärä, jolloin mittaus suoritettiin. Sen hetkinen kappaleen järjestysnumero, aika ja päivämäärä saatiin pöytäkirjaan lisäämällä tulostettavan tekstin joukkoon seuraavat kaavat:

- @Date
- @Time
- @LC eli loop counter.

Mittausohjelman haarauttamista varten tarvittiin muuttujat, joita ehtolauseissa voidaan hyödyntää. Muuttujien luominen onnistui MCOSMOS-ohjelmiston kaavanlaskenta-toiminnolla. Mitattavan dimension ylä- ja alarajalle piti luoda omat kaavansa. Kahdelle mitattavalle dimensiolle tarvittiin neljä kaavaa muuttujien luomiseen. Kaavat olivat epäyhtälöitä, joissa kappaleen halkaisijan arvoa verrattiin tiettyyn raja-arvoon. Kaavan toteutuessa se antaa arvon 1.

Kappaleista mitattiin kahta eri halkaisijaa, joille määritettiin muuttujilla kaksi raja-arvoa. Jos mikään muuttujista sai arvon nolla, ei jompikumpi kappaleen halkaisijoista ole raja-arvojen mukainen ja kappale pitää hylätä. Jokaiselle muuttujalle laadittiin oma jos-lause, jonka toteutuessa KMK:n mittauskärki ajetaan CNC-ajona kappaleen hylkäämis-signaalin antavan anturin eteen. Mikäli yksikään jos-lauseista ei toteudu, suoritetaan CNC-ajo hyväksyvän signaalin antavan anturin eteen. (Kuva 27).



KUVA 27. Mittauskärki hyväksyvän anturin edessä.

Mittauskärjen siirryttyä jommankumman anturin eteen toistuu loop-toiminnon, eli silmukan, sisällä oleva osa ohjelmaa. Silmukka sisältää mittaamisen, tekstien tulostamisen ja kaavanlaskennat, mutta ei ohjelman alkuparametreja. Silmukan alussa toistuu myös ohjelmoitu pysäytys kappaleen vaihtamista varten.

7.4.2 Robotin ohjelma

Robotin ohjelma (liite 3) sisälsi pääohjelman, joka haarautettiin kahteen aliohjelmaan. Pääohjelma muodostui mitattavan kappaleen siirtämisestä mittauspisteeseen ja aliohjelmat hyväksytyn ja hylätyn kappaleen poistamisesta. Ohjelman

haarauttaminen toteutettiin ehtolauseella koordinaattimittauskoneen ohjelman ta-
paan. Lisäksi ehtolauseita käytettiin estämään robotin liike tilanteessa, jossa
KMK on myös liikkeessä.

Automaattisen kappaleiden siirron ja mittauksen ollessa käynnissä solussa ha-
luttiin varmistua, että mittauskärki ja robotti eivät törmää toisiinsa. Varmistus ta-
pahtui rinnakkaisella thread-ohjelmalla. Ohjelmaa varten määritettiin muuttuja
”Kotona”, joka saa arvon 0, kun robotin käsivarsi tulee suorittamaan liikkeen mit-
tauskoneen pöydän päälle. Arvon 1 se saa, kun robotti tulee liikkumaan alkuase-
maansa. Thread-ohjelma toteutettiin jos-lauseella, jonka toteutuessa robotti suo-
ritti varopysäytyksen. Törmäysriski on olemassa silloin, kun KMK:n mittauskärki
ei ole kummankaan anturin edessä. Silloin robotti saa molemmilta antureilta sig-
naalin tosi. Sen vuoksi jos-lause muotoiltiin seuraavasti:

IF Digital Input 1 = True AND Digital Input 2 = True AND Kotona = 0 (1).

Varsinainen ohjelma sijaitsee Loop-komennon sisällä. Komennolle voidaan mää-
ritellä lukumäärä, jonka se toistaa ohjelmaa. Tässä tapauksessa lukumääräksi
laitettiin yksi, koska silloin ohjelma toistaa kunkin paletointiohjelmassa sijaitsevan
kappalepisteen kerran läpi. Siten kaikki kappaleet tulevat mitattua.

Ohjelmassa robotin aloituspisteeksi on määritetty liikepiste, jolle on annettu ni-
meksi Home. Ensimmäisenä liikkeenä robotti liikkuu Home:sta Lähestymispistee-
seen, joka sijaitsee mitattavien kappaleiden yläpuolella. Paletointiohjelma käyn-
nistyy sen jälkeen. Pallet-ohjelmaa luodessa ensimmäisenä määritellään muoto,
jonka mukaan kappaleet halutaan järjestää. Vaihtoehtoina ovat linja, suorakaide,
suorakulmio ja lista eri asemista. Robotin ohjelmassa käytettiin suorakaidetta
muotona, koska kappaleita oli parillinen määrä sekä ne sijaitsivat yhdessä ker-
roksessa. Seuraavana määritettiin suorakaiteen nurkkien liikepisteet. Mikäli kap-
paleita on enemmän kuin neljä, ohjelma laskee automaattisesti keskimmäisten
kappaleiden sijainnit. Kulmien liikepisteiden lisäksi määritettiin lähestymistä var-
ten liikepiste sekä liikepiste, josta kuvio alkaa.

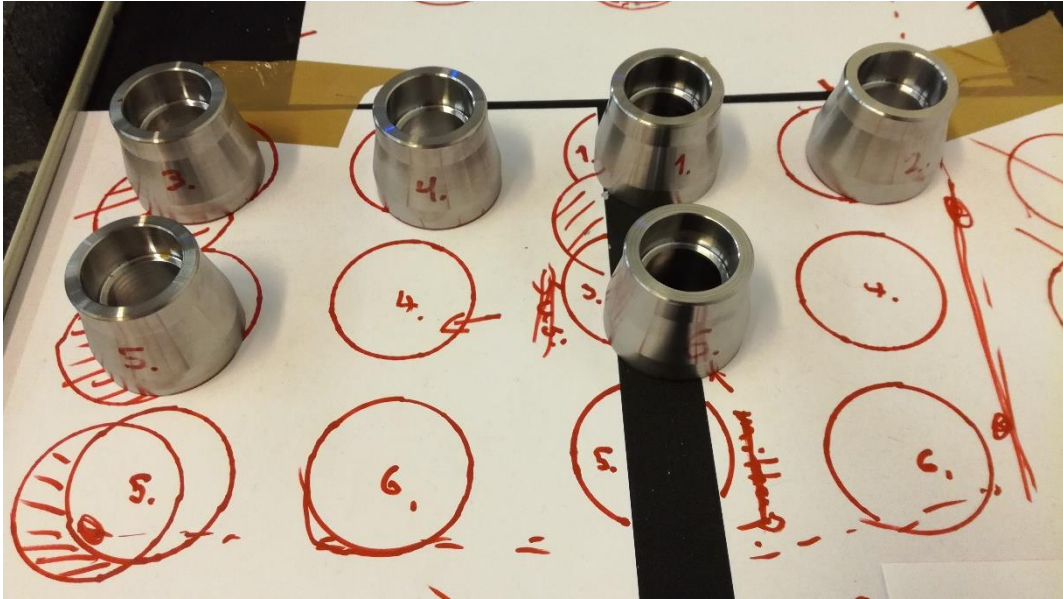
Tarraimen tartuttua kappaleeseen siirtää robotti sen kauttakulkupisteen kautta
mittauspisteen yläpuolelle. Seuraavaksi robotti toteuttaa usean liikepisteen

kautta lähestymisen kiinnittimelle ennen kappaleen irrotusta. KMK:n herkkyyden vuoksi lähimpänä kiinnityspistettä sijainneiden liikepisteiden lisäasetuksista saatiin laskettua robotin käyttämää nopeutta ja kiihtyvyyttä kulkiessaan pisteiden kautta.

Robotti siirtyy takaisin Home-asemaan irrotettuaan otteen kappaleesta ja painaa langattoman näppäimistön enter-näppäintä. Tässä vaiheessa Kotona-muuttuja saa arvon yksi. Seuraavaksi robotti odottaa digitaalisten signaalien yksi ja kaksi saavan arvon tosi. Tämä tapahtuu, kun mittauskone poistuu antureiden edestä suorittamaan mittausta. Sen jälkeen suoritetaan 30 sekunnin odotus väärän signaalin estämiseksi. Väärä signaali voi syntyä mittauskärjen kulkiessa antureiden edestä lähtiessään suorittamaan mittausta. Ilman määrätyn mittauksen odotusta robotti voisi lähteä jo noutamaan kappaletta aiheuttaen törmäysriskin. Lopuksi ennen kappaleen noutamista robotti odottaa mittauskärjen palaamista, jolloin digitaalisen signaalin yksi tai kaksi saa arvon epätosi.

Kappaleen ollessa hyväksytty, mittauskärki siirtyy anturin 1 eteen. Anturi 1 näkyy kuvassa 27 vasemmalla. Anturi aiheuttaa digitaalisen signaalin yksi muuttumisen epätodeksi. Sen seurauksena käynnistyy aliohjelma, jonka seurauksena robotti siirtää kappaleen pois mittauspisteestä ja siirtää sen hyväksytyjen kappaleiden lavalle. Aliohjelmassa hyödynnetään myös pallet-toimintoa. Robotin siirrettyä kappaleen ohjelma alkaa alusta ja robotti siirtää seuraavan kappaleen mitattavaksi.

Kappaleen ollessa hylätty, mittauskärki siirtyy anturin 2 eteen. Anturi 2 näkyy kuvassa 27 oikealla. Anturi aiheuttaa digitaalisen signaalin kaksi muuttumisen epätodeksi. Sen seurauksena käynnistyy toinen aliohjelma, joka edellä kuvatun aliohjelman kaltaisesti sisältää pallet-toiminnon, jota hyödyntäen kappale siirretään virheellisten lavalle. Siirron jälkeen palataan ohjelman alkuun. Kuvassa 28 nähdään KMK:n mitaamat ja robotin jaottelemat kappaleet. Kappaleista oikeanpuoleisimmat olivat hylättyjä ja kolme kappaletta vasemmalla hyväksytyjä.



KUVA 28. Mitattavat kappaleet jaettuna kahteen ryhmään

8 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli koordinaattimittauskoneen kappaleenvaihdon automatisointi kollaboratiivisella robotilla. Automaatiosoluun suunniteltiin layout tiedon saamiseksi robotin ulottuvuuksista ja solun mitoista. Automatisoinnin toteuttamista varten suunniteltiin ja valmistettiin kappalesarja onnistuneesti. Lisäksi jo opinnäytetyöprojektin alkuvaiheessa todettiin, että kappaleiden liikkumisen estämiseksi tuli niille suunnitella myös kiinnitin. Kiinnitysmenetelmän suunnittelussa onnistuttiin myös.

Saatu lopputulos täytti opinnäytetyön tavoitteet. Robotti kykeni siirtämään testi-kappaleet mitattaviksi ja mittauksen loputtua poistamaan ne mittauspisteestä haluttuun paikkaan mittautulosten perusteella. Robotin ja mittauskoneen ohjelmien loop-komentojen avulla saatiin toteutettua työkierron tarvittava määrä. Lisäksi onnistuttiin minimoimaan mittauskoneen ja robotin keskinäinen törmäysriski, eikä sen vuoksi ainuttakaan läheltä piti -tilannetta syntynyt työtä suorittaessa. Törmäysriskin estävä osa ohjelmaa toimi niin kuin oli tarkoituskin. Se havaittiin siinä vaiheessa, kun mittauskoneen ohjelman määrätyn mittainen loop-komento loppui ja ohjelma alkoi alusta. Samalla, kun robotti oli lähdössä hakemaan kappaletta mittauspisteestä, suoritti mittauskone liikkeen Z-akselinsa suuntaisesti anturin yläpuolelle ja takaisin anturin eteen. Sen seurauksena robotti suoritti varopysäytyksen.

Layout-suunnittelu onnistui myös. Robotti saatiin sopimaan KMK:n ja takaseinän väliseen tilaan, jossa robotti kykeni toimimaan luotua ohjelmaa käyttäen ilman törmäysriskejä. Suunnitteluvaiheessa harkittiin myös UR10-robotin asentamista soluun. UR10 olisi kyllä teoriassa mahtunut soluun, mutta törmäysriski olisi ollut silloin suurempi kokonsa vuoksi. UR5:n tarjoama hyötykuorma riitti käytettäville testikappaleille ja ulottuvuus oli riittävä mittauskoneen kanssa työskentelyyn. Kyseinen robotti päädyttiin valitsemaan siitä syystä.

Mittaussolun automatisoinnissa koettiin suurimmaksi haasteeksi paikoitustarkkuus, jolla robotti kykenee asettamaan mitattavan kappaleen oikeaan paikkaan. Jälkiviisautena voi todeta, että olisi kannattanut ensin käyttää kiinnittämisessä

mahdollisimman yksinkertaista kiinnitystapaa, jolloin työn tavoitteisiin olisi päästy aikaisemmin. Paikoitustarkkuuden ongelmallisuuden vuoksi suurin osa kehitysideoista tähtää juuri kappaleiden paikoittamisen parantamiseen. Jatkossa kappaleiden kiinnittämiseen voi suunnitella mekaanisen kiinnittimen, joka lisää kiinnitysvarmuutta ja tarkkuutta.

Aluksi kappaleiden siirrossa käytettiin testikappaleen ulkopuolelle tarttuvaa otetta. Pian huomattiin, että sillä otteella kappaleet asettuivat eri kohtaan suhteessa tarraimeen heikentäen paikoitustarkkuutta. Ratkaisuksi keksittiin vaihtaa ote kappaleen sisähalkaisijalle. Kappaleet asettuivatkin paremmalla tarkkuudella tarraimeen. Jatkossa voidaan kehittää uusia tarraimia tai tarrainten osia, joiden tarkoituksena on parantaa entisestään paikoitustarkkuutta.

Kappaleiden lavana työssä käytettiin rullalaatikostoa, jonka päällä oli kumimatto. Työn aikana havaittiin sekä laatikoston rullien vuoksi että päällä olevan kumimaton, herkästi liikkuvan kosketuksesta. Liikkumisen seurauksena jouduttiin siirtämään robotin ohjelman liikepisteitä, jotta robotti kykenee taas siirtämään kappaleet oikeaan kohtaan. Lavaksi voisi siis kehittää jonkin paremman ratkaisun, joka ei siirry herkästi tai jonka voi paikoittaa haluttuun kohtaan paremmin.

Robotille kehitettiin siirreltävä jalusta opinnäytetyötä ja tulevaisuuden tarpeiden varten. Jalustan tukena oli neljä kierretankoa jokaisessa kulmassa. Tukevuuden parantamiseksi sen juureen lisättiin 20 kilogramman verran painoa. Siitä huolimatta todettiin, että suuresta nopeudesta tapahtuneessa turvapysäytyksessä jalusta saattoi siirtyä. Siitä seurasi kaikkien robotin ohjelman liikepisteiden siirtyminen. Jalustaa voisi kehittää suunnittelemalla ratkaisu sen tukemiseen siten, että sen siirtyminen estyy.

Työssä käytettiin kahta anturia ja ohjelmoinnin mahdollisuuksia solun toiminnan ohjaamiseen. Solun toiminnan ohjauksessa on mahdollista hyödyntää myös suoraa kytkentää laitteiden välillä. Tämän voi tehdä esimerkiksi ethernet-kaapelilla. Tällaisessa suorassa kytkennässä ongelmia voi esiintyä, kun halutaan yhteistoimintaan eri valmistajien valmistamat laitteet. Tässä työssä solun toiminnan ohjaamiseen käytetty menetelmä voi olla helpoin ja edullisin tapa yhteistyörobotin integroinnissa myös muihin yksinkertaisiin sovelluskohteisiin.

Opinnäytetyön lopputuloksena syntynyttä tietoa voidaan jatkossa hyödyntää Oulun ammattikorkeakoulun yhteistyökumppanien tarpeisiin. Työ mahdollistaa kappalesarjan valmistamisen tilauksesta, johon sisällytetään mittojen tarkistus. Kappaleenvaihdon automatisoinnin ansiosta kappaleiden vaihtaminen ei syö työvoimaa, jolle on tarvetta tuottavammassa työssä. Lisäksi tietoa voidaan soveltaa jonkin muun koneen kappaleenvaihdon automatisoinnissa.

Yhteistyörobotit ovat pienen kokonsa ja massansa puolesta helposti liikuteltavissa. Opinnäytetyössä käytetty robotin jalusta paransi robotin liikuteltavuutta entisestään. Jalustan ansiosta robotin asentamisessa soluun riitti yhden henkilön työpanos, kun ilman jalustaa siihen olisi vaadittu työpanos kahdelta henkilöltä. Perinteiseen teollisuusrobottiin verrattua liikuteltavalle alustalle asennettu yhteistyörobotti tarjoaa suuren edun layout-muutosten toimeenpanon nopeudessa.

LÄHTEET

Aalto, Heikki – Heilala, Juhani – Hirvelä, Tuomas – Kuivanen, Risto – Laitinen, Mika – Lehtinen, Hannu – Lempiäinen, Juhani – Lylynoja, Ari – Renfors, Juha – Selin, Keijo – Siintoharju, Tero – Temmes, Jaakko – Tuovila, Tommi – Veikkolainen, Mikko – Vihinen, Jorma – Virtanen, Ari 1999. Robotiikka. Tampere: Suomen robotiikkayhdistys Ry.

Aaltonen, Kalevi – Airila, Mauri – Andersin, Hans – Ekman, Kalevi – Kauppinen, Veijo – Liukko, Timo – Pohjala, Petri 1992. Tuotantoautomaatio. Espoo: Otatieto Oy.

ABB. Saatavissa: <http://new.abb.com/fi>. Hakupäivä 10.8.2017.

Aluflex. Saatavissa: <http://www.aluflex.com/>. Hakupäivä 11.11.2017.

Analoginen vs. digitaalinen tiedonsiirto. 2003. Digitaalitekniikan perusteet. Signaalinkäsittely-tekniikan laboratorio. Teknillinen korkeakoulu. Saatavissa: <http://legacy.spa.aalto.fi/sig-legacy/digis/luento1/anadigi.html>. Hakupäivä 11.11.2017.

Bèlanger-Barrette, Mathieu 2015. What is a Cobot. Saatavissa: <https://blog.robotiq.com/what-is-a-cobot>. Hakupäivä 12.11.2017

Bernier, Catharine 2013. Safety standards for collaborative robots. Saatavissa: <https://blog.robotiq.com/bid/66790/Safety-Standards-for-Collaborative-Robots> Hakupäivä 12.11.2017

Bouchard, Samuel 2017. Lean Robotics. Québec: Samuel Bouchard.

Cobots Ebook. 2017. Collaborative Robots Buyer's Guide. Saatavissa: <https://blog.robotiq.com/collaborative-robot-ebook>. Hakupäivä 15.11.2017.

Crysta-Apex S series. 2015. Mitutoyo America Corporation. Saatavissa: http://www.mitutoyo.com/wp-content/uploads/2013/01/2097_CRYSTA_ApexS.pdf. Hakupäivä 8.8.2017

Haverila, Matti – Uusi-Rauva, Esko – Kouri, Ilkka – Miettinen, Asko 2009. Teollisuustalous. 6. p. Tampere: Infacs johtamistekniikka.

IFR. Saatavissa: <https://ifr.org/>. Hakupäivä 12.11.2017.

IFA. Saatavissa: <http://www.dgouv.de/ifa/index-2.jsp>. Hakupäivä 12.11.2017.

Electronics Hub. Saatavissa: <http://www.electronicshub.org/>. Hakupäivä 11.11.2017

ISO/TS 15066. 2016. Robots and robotic devices, Collaborative robots. Itävalta: Kansainvälinen standardisoimisliitto ISO.

Koivuviita, Kalevi 1997. Ohjaustekniikka. Suomen Eduserver Ky. Saatavissa: http://personal.inet.fi/yritys/kkov.eduserver/yhteinen/anturitekniikka1_01_26.pdf. Hakupäivä 16.10.2017

Malm, Timo – Viitaniemi, Juhani – Marstio, Ilari – Toivonen, Sirra – Koskinen, Jukka – Venho, Outi – Salmi, Timo – Laine, Esa – Latokartano, Jyrki 2008. Vuorovaikutteisen robotiikan turvallisuus. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys ry.

MCOSMOS software. 2015. Mitutoyo America Corporation. Saatavissa: http://www.mitutoyo.com/wp-content/uploads/2012/11/2020_MCOSMOS.pdf. Hakupäivä 9.8.2017.

Martinsuo, Miia – Mäkinen, Saku – Suomala, Petri – Lyly-Yrjänäinen, Jouni 2016. Teollisuustalous kehittyvässä liiketoiminnassa. Helsinki: Edita.

Machinedesign. Saatavissa: <http://www.machinedesign.com/>. Hakupäivä: 11.11.2017.

Miettinen, Kirsi 2016. Valtioneuvoston periaatepäätös älykkäästä robotiikasta ja automaatiosta. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö. Saatavissa: <http://valtioneuvosto.fi/paatokset/paatos?decisionId=0900908f804c7484>. Hakupäivä 7.8.2017

Movetec. Saatavissa: <https://www.movetec.fi>. Hakupäivä 11.11.2017

Posicraft. Saatavissa: www.posicraft.fi. Hakupäivä: 16.11.2017.

Rajakytkimet. 2010. Metropolia ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/Induktiivinen+rajakytkin>. Hakupäivä 11.11.2017.

Renishaw. Saatavissa: <http://www.renishaw.com/en/1030.aspx>. Hakupäivä: 11.11.2017.

Robotiikka. 2016. Lahden ammattikorkeakoulu. Saatavissa: http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf_tiedostot/Robotiikka_yleinen.pdf. Hakupäivä: 9.8.2017

SFS-EN ISO 12100. 2005. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

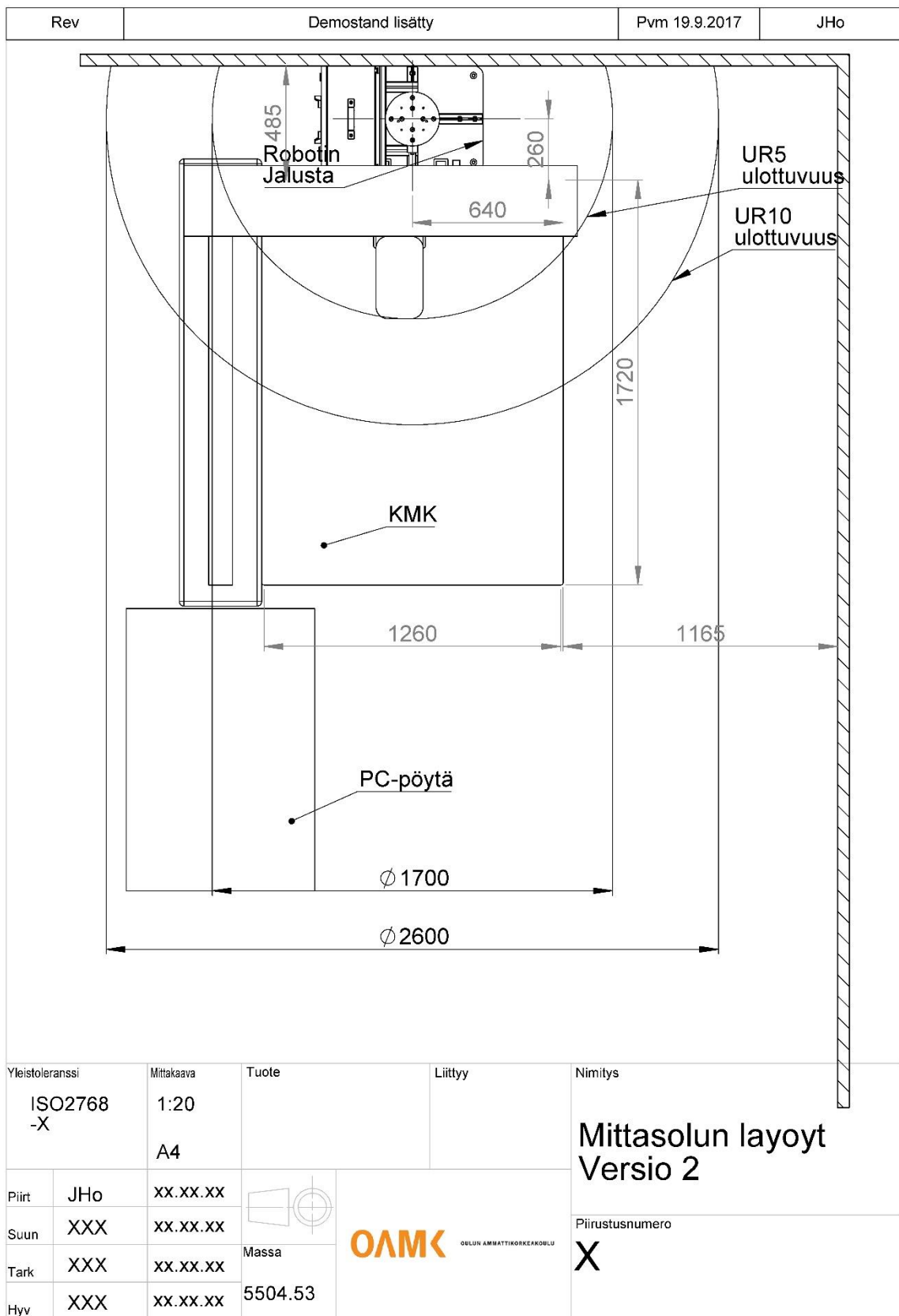
SFS-EN ISO 10218-1. 2011. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 10218-2. 2011. Robots and robotic devices. Safety requirements for industrial robots. Part 2: Robot systems and integration. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Tikka, Heikki 2009. Koordinaattimittaus 2. p. Tampere: Tampereen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print.

Universal Robots. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/>. Hakupäivä 16.11.2017.

Zacobria. Saatavissa: <http://www.zacobria.com/>. Hakupäivä: 10.8.2017.



1. Vaihda kärkiyhdistelmä yhdistelmään nro. 8
 - Haluttu kärkiyhdistelmä on kärki nro. 8
2. Vaihda mittauskärki on 1
 - Ei vaihdeta kärkeä, koska yhdistelmä nro. 8 on paikallaan
3. Lataa koordinaatisto muistipaikasta 28
 - lataa aikaisemmin tallennetun kappalekoordinaatiston
4. Avaa pöytäkirja C:\...\pöytäkirjat\KplSarja@RC [@date].pdf
 - Määritetään pöytäkirjan tallennuspolku, pöytäkirjamalli sekä nimi
 - @RC ja @date-komentojen avulla saadaan tallennetun tiedoston nimeen järjestysnumero sekä päivämäärä.
5. CNC-parametrit ja CNC päälle
 - Asettaa CNC-parametrit, kuten liikenopeuden, mittausnopeuden sekä turvaetäisyyden kappaleesta ja käynnistää CNC-ajon.
6. Aja KMK absoluuttinen siirto
 - Ajaa mittakärjen määritelyihin koordinaatteihin CNC-ajona.
7. Aja KMK absoluuttinen siirto
8. Silmukan aloitus
 - Aloittaa silmukan eli loopin, joka toistaa silmukan sisällä olevaa ohjelmaa.
9. Ohjelmoitava pysäytys
 - Ohjelmaan ohjelmoitu pysäytys, jonka jälkeen se jää odottamaan kuittausta robotilta. Sitä seuraa CNC-ajo
10. Aja KMK absoluuttinen siirto
 - Ajaa kärjen aloituspisteeseen anturin eteen.
11. Aja KMK absoluuttinen siirto
 - Ajaa kärjen mitattavan kappaleen lähelle.
12. Vapaakorkeus päälle
 - Asettaa turvallisuustoimena vapaakorkeudeksi Z-akselin suuntaisesti 20mm kappaleen yläpuolelle.
13. Taso
 - Suorittaa tason mittaaminen kappaleen päältä ja luo elementin taso 2.

14. Automaattinen tason mittaaminen

- Suorittaa mittaamisen asetettujen parametrien mukaisesti.

15. Elementti valmis

- Tason mittaaminen on suoritettu.

16. Linjaa perustaso

- Linjaa koordinaatiston mitatun Taso 2:n suuntaisesti.

17. Vapaakorkeus 20 millimetriä

18. Ympyrä

- Mittaa kappaleen ulkohalkaisijan ja luo elementin Ympyrä 2.

19. Automaattinen ympyrän mittaus

- Suorittaa mittaamisen asetettujen parametrien mukaisesti.

20. Elementti valmis

21. Aseta nollapiste

- Asettaa koordinaatiston nollapisteen elementin Ympyrä 2:n avulla XY-tasossa.

22. Vapaakorkeus 20 millimetriä

23. Piste

- Mittaa pisteen ja luo elementin Piste 2.

24. Mittauspiste

- Mittaa pisteen parametrien mukaisesti.

25. Elementti valmis

26. Liitäntäelementti Suora

- Luo XY-tasossa kulkevan suoran.

27. Linjaa akseli yhdensuuntaiseksi akseliin

- Linjaa X-akselin XY-tasoon luodun Suora 2:n suuntaiseksi.

28. Vapaakorkeus 20 millimetriä

29. Ympyrä

- Mittaa ympyrän ja luo elementin Ympyrä 3.

30. Automaattinen ympyrän mittaus

- Suorittaa mittaamisen parametrien mukaisesti. Nyt mitataan tuhat pistettä kappaleen ulkohalkaisijalta.

31. Elementti valmis

32. Tekstin tulostus

- Tulostaa pöytäkirjaan tekstin "Sarjan @LC. kappale, Mitattu @Date @Time" @LC eli looplaskin tulostaa toistettujen silmukoiden määrän, jolloin saadaan raporttiin kappaleille järjestysnumero. Raporttiin voi tulostua esimerkiksi "Sarjan 3. kappale, Mitattu 11.10.2017 12:33:42"

33. Tekstin tulostus

- Ympyrä D 40 mm

34. Toleranssi – Ympyrä 3.

- Asetetaan mitattavalle elementille halutut toleranssit, joihin mitaustuloksia verrataan ja tulostetaan mittauspöytäkirjaan.

35. Kaavalaskenta $UlkomittaOK1 = CR[3].D \leq 40.000$

- Kaavanlaskennalla lisätään muuttuja, jota myöhemmin voidaan hyödyntää Jos-lausekkeessa. Mikäli muuttuja on tosi, antaa se arvon 1. Muuttuja "CR" merkitsee ympyrää ja numero 3 viittaa aikaisemmin mitattuun elementtiin Ympyrä 3. Kirjain D merkitsee halkaisijaa. Toisin sanoen elementin Ympyrä 3 halkaisijan D täytyy olla pienempi kuin 40.000 millimetriä ollakseen tosi.

36. Kaavalaskenta $UlkomittaOK2 = CR[3].D \geq 39.961$

- Toisella muuttujalla määritellään Ympyrän 3 halkaisijan alaraja.

37. Ympyrä

- Mittaa ympyrän ja luo elementin Ympyrä 4.

38. Automaattinen ympyrän mittaus

- Suorittaa mittaamisen parametrien mukaisesti. Nyt mitataan tuhat pistettä kappaleen ulkohalkaisijalta.

39. Elementti valmis

40. Tekstin tulostus

- Ympyrä d 30 mm

41. Toleranssi – Ympyrä 4

- Asetetaan mitattavalle elementille halutut toleranssit, joihin mitaustuloksia verrataan ja tulostetaan mittauspöytäkirjaan.

42. Kaavalaskenta $SisämittaOK1 = CR[4].D \leq 30.021$ 43. Kaavalaskenta $SisämittaOK2 = CR[4].D \geq 29.950$

44. Vapaakorkeus pois
45. Aja KMK absoluuttinen siirto
 - Ajaa mittakärjen kappaleen yläpuolelle
46. Jos ULKOMITTAOK1 \neq 1
47. Mene EiToleranssissa
 - Jatkaa ohjelmaa CNC-ajona merkinä "EiToleranssissa" määriteltujen koordinaattien kautta
48. Jos ULKOMITTAOK2 \neq 1
49. Mene EiToleranssissa
50. Jos SISAMITTAOK1 \neq 1
51. Mene EiToleranssissa
52. Jos SISAMITTAOK2 \neq 1
53. Mene EiToleranssissa
54. Aja KMK absoluuttinen siirto
 - Ajaa mittauskärjen hyväksyvän signaalin antavan anturin yläpuolelle turvallisessa korkeudessa
55. Aja KMK absoluuttinen siirto
 - Siirtää kärjen hyväksyvän signaalin antavan anturin eteen
56. Mene Loppuun
 - Jatkaa ohjelmaa CNC-ajona merkinä "Loppuun" määriteltujen koordinaattien kautta
57. Määritä Merkki EiToleranssissa
 - Määrittää merkille "EiToleranssissa" jatkotoimet
58. Aja KMK absoluuttinen siirto
 - Siirtää kärjen hylkäävän signaalin antavan anturin ylle
59. Aja KMK absoluuttinen siirto
 - Siirtää kärjen anturin eteen
60. Määritä Merkki Loppuun
 - Määrittää merkille "Loppuun" jatkotoimet
61. Silmukan loppu
 - Ohjelman silmukka eli loop alkaa alusta siirtyen takaisin kohtaan 8.

